

UNIVERSITY OF QUEBEC IN MONTREAL

MINERALOGICAL STUDY OF THE AURIFEROUS SHEAR ZONE ALONG THE AUGMITTO-
ASTORIA SEGMENT IN THE CADILLAC BREAK SOUTH TO
ROUYN-NORANDA, ABITIBI, QUÉBEC

THESIS

PRESENTED

AS PARTIAL REQUIREMENT

OF THE MASTERS OF EARTH SCIENCES

BY

JULIEN LAPORTE

JANUARY 2016

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.07-2011). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

ÉTUDE MINÉRALOGIQUE DE LA ZONE DE CISAILLEMENT AURIFÈRE LE LONG DU
SEGMENT AUGMITTO-ASTORIA AU SUD DE ROUYN-NORANDA, ABITIBI, QUÉBEC

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE LA TERRE

PAR

JULIEN LAPORTE

JANVIER 2016

AVANT-PROPOS

La présentation de ce mémoire se fait sous forme d'un article scientifique en vue d'une publication dans la revue *Canadian Journal of Earth Sciences*, sous le titre « *Mineralogical study of the auriferous shear zone along the Augmitto-Astoria segment in the Cadillac Break South to Rouyn-Noranda, Abitibi, Québec* ». Michel Jébrak, le directeur de maîtrise ainsi que Baptiste Chapon, le superviseur en milieu pratique, seront les co-auteurs de l'article. La rédaction fut réalisée en anglais, pour intéresser une plus grande communauté de chercheurs et également pour un éventuel doctorat dans une université anglophone. Les tableaux et figures se trouvent à la fin du document.

REMERCIEMENTS

Mes premiers remerciements sont dirigés vers Michel Jébrak, mon directeur de maîtrise, pour ses commentaires et explications enrichissantes qui ont permis à ce projet de maîtrise d'aboutir.

Je remercie la compagnie minière Les Ressources Yorbeau, le CRSNG et le FQRNT pour la partie financière. Je remercie Baptiste Chapon pour son aide sur le terrain, ses idées concernant l'avancement du mémoire et ses corrections. Merci également à Stéphane Faure, pour ses corrections. Un grand merci à Sadia Medhi pour son incroyable patience et sa disponibilité dans l'acquisition de données au spectromètre de masse. Je pense aussi à Raynald Lapointe pour son aide dans l'acquisition de données au MEB ainsi que Denise Roy pour la gestion.

Mes remerciements sont également tournés vers les collègues et amis du labo, Christophe, Nico, Noémie, Sach, Sam, Kristina et Ludo. Enfin, je remercie ma copine, Jessica, pour son soutien exceptionnel ainsi que ses encouragements et son empathie durant ce projet. Je pense également beaucoup à mes parents qui m'ont soutenu dans cette expérience et qui apprendront avec une grande joie le dépôt de ce mémoire.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the mining Company Les Ressources Yorbeau, as well as NSERC and FQRNT for funding this study, which is a partial requirement of a M.Sc. project by JL. We thank Baptiste Chapon for he is the one at the origin of this project. Stéphane Faure is also thanked for his comments and the review of this document. We also thank Sadia Medhi for her unbelievable patience and availability regarding the data acquisition with the LA-ICP-MS and Raynald Lapointe for his assistance with acquiring SEM data.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	iii
REMERCIEMENTS	iv
ACKNOWLEDGEMENTS	v
TABLE DES MATIÈRES	vi
LISTE DES FIGURES	ix
LISTE DES TABLEAUX	xiii
RÉSUMÉ	xiii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
ABSTRACT	5
INTRODUCTION	6
CHAPTER I	
GEOLOGY	8
1.1. Piché Group	9
1.2. Timiskaming Group	9
1.3. Intrusive rocks	10
1.4. Deformation and metamorphism	11
CHAPTER II	
METHODOLOGY	12
CHAPTER III	
PICHÉ GROUP MINERALIZATION	13
3.1. Ultramafic rocks of the Piché Group	13
3.1.1 Ore mineralogy in the Piché Group	15
3.1.2 Gold features in the Piché Group	16
3.2 Metamorphic rocks	18
CHAPTER IV	

TIMISKAMING GROUP MINERALIZATION	19
4.1 Timiskaming mineralization in the footwall.....	21
4.1.1 Ore mineralogy in the footwall	21
4.1.2 Gold in the footwall	27
4.2 Timiskaming mineralization in the hanging wall.....	30
Ore mineralogy in the hanging wall	30
4.2.1 Pyrite	30
4.2.2 Arsenopyrite.....	30
4.2.3 Pyrrhotite	31
4.2.4 Antimony minerals.....	31
4.2.5 Minor ore mineralogy	31
 CHAPTER V	
INTRUSIVE ROCKS	33
5.1. Lithology and structure of the Albitite dykes.....	33
5.2. Ore mineralogy in the albitite dykes.....	34
5.2.1 Arsenopyrite.....	35
5.2.2 Pyrite	35
5.2.3 Minor minerals.....	35
5.3. Gold features in the albitite dykes	35
 CHAPTER VI	
ANALYSES ON PYRITES	36
6.1. Co versus Ni.....	36
6.2. Molybdenum in pyrites.....	37
6.3. Dendritic pyrites.....	37

CHAPTER VII

DISCUSSION.....	39
7.1. Gold along the Augmitto-Astoria corridor	39
7.1.1 Invisible gold from Augmitto-Astoria.....	39
7.1.2 Visible gold along from Augmitto-Astoria.....	40
7.1.3 Interpretation on the different habitus of gold	41
7.2. Intrusive rocks.....	41
7.3. Interpretation on the classification on the pyrites crystals	42
7.4. Deposition model.....	42
7.5. Comparisons	44
7.5.1 With previous models	44
7.5.2 With other deposits	45

CONCLUSION.....	47
------------------------	-----------

APPENDICE A

SECTIONS VERTICALES POUR LA LOCALISATION DES ECHANTILLONS.....	113
---	------------

APPENDICE B

METHODE ANALYTIQUE POUR LES ANALYSES ET LES CARTOGRAPHIES REALISEES SUR LES PYRITES PAR SPECTROMETRIE DE MASSE COUPLEE PAR INDUCTION.....	137
--	------------

APPENDICE C

METHODE ANALYTIQUE REALISEE SUR LES PARTICULES D'OR VISIBLE.....	170
---	------------

APPENDICE D

ANALYSES GÉOCHIMIQUES RÉALISÉES SUR LES ÉCHANTILLONS.....	184
--	------------

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE	225
-------------------------------------	------------

LISTE DES FIGURES

Figures 1.1 : Location of the Yorbeau Resources projects.....	53
Figure 3.1 : Scheme illustrating the three geological sub-zones of the Piché Group.....	54
Figure 3.2:Microphotographs illustrating a komatiite from the Piché Group	55
Figure 3.3 :Photograph illustrating the ultramafic rocks of the Augmitto sector	55
Figure 3.4 : Microphotograph illustrating the amphibolised crystals of biotite in the ultramafic rocks of the Astoria sector.	56
Figure 3.5: Microphotograph illustrating the various folded veinlets in the ultramafic rocks of the Cinderella sector.....	56
Figure 3.6: Photograph illustrating the ultramafic rocks in the Cinderella sector.....	57
Figure 3.7 :Paragenesis of the ultramafic rocks of the Piché Group	58
Figure 3.8 : Microphotograph displaying a recrystallization texture.....	59
Figure 3.9: Microphotograph of the ultramafic rocks of the Augmitto sector	59
Figure 3.10 : Microphotograph displaying the crystals present within a vein of quartz in the ultramafic rocks of the Astoria sector.....	60
Figure 3.11 : Microphotograph illustrating a crystal of arsenopyrite in the ultramafic rocks of the Astoria sector.....	61
Figure 3.12 : Photograph illustrating the crystals of arsenopyrite in the ultramafic rocks of the Astoria area.....	62
Figure 3.13 : Microphotograph illustrating the crystals of loellingite in the ultramafic rocks of the Astoria sector.....	63
Figure 3.14 : Microphotograph illustrating two kinds of arsenopyrite in the ultramafic rocks of the Astoria sector.....	64
Figure 3.15 : Microphotographs of pyrrhotite crystals in the ultramafic rocks of the Augmitto and Cinderella sectors.....	64
Figure 3.16 : Microphotograph illustrating the sub-euhedral crystals of chalcopyrite.....	65
Figures 3.17: Microphotographs illustrating the nickel minerals present in the ultramafic rocks of the Lac Gamble and Cinderella sectors.	66

Figures 3.18: Microphotographs illustrating several habitus of pyrite.....	67
Figure 3.19: Microphotographs illustrating crystals of oxide present in the ultramafic rocks of the Cinderella sector.....	68
Figure 3.20: Visible particles of gold in the ultramafic rocks.....	69
Figures 3.21: Microphotographs illustrating the hydrothermal pyrite.....	70
Figure 3.22 : LA-ICP-MS mapping on the hydrothermal pyrite from the ultramafic rocks of the Piché Group.....	71
Figure 3.23: Microphotograph illustrating the dark magnetic skarn.....	72
Figure 3.24 :Microphotograph illustrating a crystal of arsenopyrite in the mineralized skarn of the Astoria sector.....	72
Figure 3.25 : Microphotograph illustrating the numerous folded veinlets of hematite.....	73
Figures 4.1: Photographs illustrating sediments along the Augmitto-Astoria corridor.....	74
Figure 4.2: Microphotograph illustrating the amphibolised crystals of biotite.....	74
Figure 4.3: Paragenesis of the sediments of the Timiskaming Group	76
Figure 4.4: Photograph illustrating the black-shales of the Astoria sector.....	77
Figures 4.5: Microphotographs illustrating the fine zoned euhedral crystal of arsenopyrite in the Astoria sector.....	78
Figures 4.6: Microphotograph illustrating the folded veinlet of arsenopyrite crystals in the footwall sediments of the Augmitto sector.....	78
Figures 4.7 : Microphotographs illustrating the large anhedral crystals of arsenopyrite in the footwall sediments of the Cinderella sector.....	79
Figures 4.8: Microphotograph illustrating the large anhedral crystals of arsenopyrite observed in the Astoria sector.....	79
Figures 4.9: Photographs illustrating arsenopyrite crystals within the shear fracture of the Cinderella sector.	80
Figures 4.10: Microphotographs illustrating the arsenopyrite crystals analysed by LA-ICP-MS in the ultramafic rocks of the Astoria sector.	81
Figures 4.11: Microphotographs illustrating the crystals of pyrite and arsenopyrite in the black shales of the Astoria sector.....	82

Figures 4.12: Microphotograph illustrating the crystals of pyrite displaying replacement textures	82
Figures 4.13: Microphotographs illustrating the different pyrites in the footwall sediments of the Cinderella sector.....	83
Figure 4.14: Microphotograph illustrating the crystals of pyrite in the footwall sediments of the Cinderella sector.....	84
Figures 4.15: Microphotographs illustrating a crystal of pyrrhotite with lamellae of pentlandite in the footwall sediments of the Cinderella and Astoria sectors.....	83
Figures 4.16: Microphotographs illustrating a crystal of arsenopyrite associated with chalcopyrite and loellingite in the footwall sediments of the Cinderella sector.....	84
Figures 4.17: Microphotographs illustrating a crystal of monazite and several crystals of gersdorffite in the footwall sediments of the Astoria sector.	85
Figures 4.18: Microphotographs illustrating three different habitus of gold.....	86
Figure 4.19 : LA-ICP-MS mapping of the framboïdal pyrite.....	87
Figure 4.20 : LA-ICP-MS mapping of the hydrothermal pyrite in the footwall sediments of the Cinderella area. Scales are in ppm.....	88
Figure 4.21 : Photograph illustrating the sulphides in the hanging wall sediments of the Cinderella sector.	89
Figure 4.22: Microphotograph illustrating a crystal of pyrite associated with minerals of famatinite in the hanging wall sediments of the Augmitto sector.	89
Figures 4.23: Microphotographs illustrating the two habitus of the arsenopyrite crystals in the hanging wall sediments.	90
Figures 4.24: Microphotographs illustrating a crystal of pyrite associated with famatinite in the hanging wall sediments.	90
Figure 4.25 : Microphotograph illustrating a crystal of thorite in the hanging wall sediments of the Lac Gamble sector.	91
Figure 5.1: Photograph of a drill core illustrating the textures and structures of the albitite dykes in the Cinderella sector.....	92

Figures 5.2: Microphotographs illustrating the minerals present within the matrix of the albitite dykes of the Cinderella sector.	93
Figure 5.3: Paragenesis of the albitite dykes along the Augmitto-Astoria corridor.	94
Figures 5.4: Microphotograph illustrating the two habitus of arsenopyrite crystals in the albitite dykes.....	95
Figures 5.5: Microphotographs illustrating the crystals of monazite in the albitite dykes of the Cinderella sector.	95
Figure 5.6: Microphotographs illustrating the particles of gold within the albitite dyke of the Cinderella sector.	96
Figure 6.1: Diagram illustrating the evolution of cobalt depending on nickel.	97
Figure 6.2: Diagram illustrating the evolution of manganese depending on chrome.....	98
Figure 6.3: Graphic with the Mo content from pyrites.....	98
Figure 7.1: Proposed depositional model.	99
Figure 7.2: Location and geology of the Lapa mine	100
Figure 7.3: Location of the Sukhoi Log deposit.....	100

LISTE DES TABLEAUX

Table 3.1 : Details concerning the thirteen thin sections realized in the Piché Group along the Augmitto-Astoria corridor.....	101
Table 3.2 : Geochemical analyses realized on both mineralized and sterile skarns.....	102
Table 3.3 : Chemical elements in the hydrothermal pyrite from the ultramafic rocks of the Piché Group.....	103
Table 4.1 : Details concerning the twenty thin sections realized in the footwall and hanging wall sediments.	104
Table 4.2 : Chemical elements present in the pyrites from the black shales and shear fracture in the footwall sediments	105
Table 4.3 : Chemical elements present in the pyrites from the black shales and shear fracture in the footwall sediments	106
Table 5.1 : Details concerning the three thin sections realized in the albitite dykes along the Augmitto-Astoria corridor.....	107
Table 5.2 : Geochemical analyses realized on the albitite dykes.....	107
Table 7.1: Results of the analyses realized on the pyrites.....	108
Table 7.2: Comparisons between the Augmitto-Astoria sectors with gold deposits	109

RÉSUMÉ

La zone de faille Cadillac Larder Lake (FCLL) est mondialement connue pour ses gisements aurifères (Kerrich et Wyman, 1990; Robert et Poulsen, 1997; Robert, 2001; Groves *et al.*, 2003). Le long de ce corridor de déformation, quatre ensembles lithologiques ont été étudiés dans la région de Rouyn-Noranda: i) les roches ultramafiques du Groupe du Piché, ii) les shales noirs ainsi que les sédiments du Groupe du Témiskaming au mur et au toit de la zone de la FCLL, iii) les dykes d'albite archéens et iv) le dyke protérozoïque. Ces ensembles lithologiques ont été observés le long du segment Augmitto-Astoria, au sud de Rouyn-Noranda, Québec. Le métamorphisme régional est au faciès des schistes verts (Dimroth *et al.*, 1983; Robert et Brown, 1986; Sibson *et al.*, 1988). L'arsénopyrite, la pyrite et la pyrrhotite sont les sulfures majoritairement présents dans les roches ultramafiques et sédimentaires. Des analyses au MEB et au LA-ICP-MS ont été réalisées sur des cristaux zonés de pyrite et d'arsénopyrite. Dans les roches ultramafiques, l'or est invisible dans le cœur, riche en arsenic, de la pyrite hydrothermale, et il est visible en formant des particules d'or libres dans la matrice. Dans le Groupe du Témiskaming, aucune particule d'or n'a été observée dans les sédiments du toit de la zone de faille qui contiennent cependant de nombreux minéraux à antimoine, dont l'ullmannite (NiSbS), la chalcoppyrite à antimoine (Cu_2SbS_4), la famatinite (Cu_3SbS_4) and la tétraédrite ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$). Dans le mur de la zone de faille, l'or est invisible, comme inclusion et dans la structure de pyrites hydrothermales, et également visible sous forme de particules associées avec de large amas d'arsénopyrite. Les shales noirs contiennent des pyrites framboïdales avec de l'or invisible dans leur structure. Les dykes d'albite archéens sont minéralisés en arsénopyrite, pyrite et or. Le secteur Astoria est intéressant par la présence du dyke protérozoïque responsable de : 1) une auréole métamorphique à la limite entre le faciès des schistes verts supérieurs et celui des amphibolites; 2) la présence de particules d'or, dont la taille ne dépasse pas les 20 microns, localisées à l'interface entre les cristaux de löllingite et d'arsénopyrite ; 3) un rapport Au/Ag dépassant 10 :1, plus élevé que dans tous les autres secteurs le long du segment Augmitto-Astoria et 4) la présence de skarns minéralisés. L'étude de 36 lames minces a permis de mettre en évidence trois épisodes aurifères: 1) un épisode précoce, plus vieux que 2,67 Ga, marqué par la présence de l'or dans la structure des pyrites framboïdales au sein des shales noirs ; 2) un événement aurifère syn-tectonique, postérieur à la mise en place des sédiments du Groupe du Témiskaming, marqué par la présence d'or invisible dans les pyrites hydrothermales au sein des roches ultramafiques du Groupe du Piché et sédimentaires du Groupe du Témiskaming et 3) une remobilisation aurifère tardive, d'âge tardi-protérozoïque, liée à la présence du dyke protérozoïque et la formation de particules d'or piégées entre la löllingite et l'arsénopyrite. La concentration de l'or dans la faille Cadillac au sud de Rouyn-Noranda, résulte donc de la combinaison d'événements tardi-archéen et protérozoïque.

MOTS-CLEFS : Faille Cadillac, pyrite, arsénopyrite, or, invisible, antimoine, schistes verts, dyke protérozoïque.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

La faille Cadillac Larder-Lake (FCLL) est un couloir de déformation mondialement connu, notamment pour ses nombreux gisements d'or orogénique (Dubé et Gosselin, 2007 ; Rabeau, 2010). Différents épisodes hydrothermaux ont permis la mise en place de plusieurs types de minéralisations (Bedeaux *et al.*, 2014). La compagnie minière Les Ressources Yorbeau détient une propriété d'exploration le long de la FCLL, située dans le camp minier de Rouyn-Noranda, Abitibi, Canada. Cette localisation offre l'avantage d'être directement en contact avec la zone de faille, ce qui permet de faire des comparaisons géologiques, géochimiques et minéralogiques entre les échantillons situés à proximité et ceux éloignés de cette zone de déformation. Le long de la propriété se trouvent trois groupes géologiques principaux : 1) les roches ultramafiques du Groupe du Blake River; 2) les sédiments du Groupe du Témiskaming, comprenant les roches ultramafiques du Piché et 3) les sédiments du Groupe de Pontiac. L'ensemble de ces groupes est recoupé par les dykes protérozoïques.

Cette étude fut réalisée sur quatre secteurs : Augmitto, Cinderella, Lac Gamble et Astoria, qui sont supposés posséder le plus grand potentiel aurifère de la propriété. Le long de ce corridor, le métamorphisme régional atteint le faciès des schistes verts alors qu'à proximité du dyke protérozoïque, le métamorphisme atteint le faciès à la limite entre les schistes verts supérieurs et les amphibolites. Les minéralisations se trouvent principalement : 1) dans les sédiments du toit et du mur de la zone de faille avec des veines de quartz-carbonates-tourmaline recoupant les sédiments séricitisés et minéralisés en arsénopyrite, pyrite \pm or visible et 2) dans les roches encaissantes de type komatiites, avec des veines de quartz-tourmaline-carbonates, recoupant les roches ultramafiques à carbonates-fuchsite et minéralisées en or visible \pm arsénopyrite et pyrite.

Le secteur n'a pas été étudié en détail jusqu'ici. De nombreuses questions restent donc en suspens, notamment en ce qui concerne : 1) la minéralogie des zones aurifères sur la propriété de la compagnie; 2) les différences minéralogiques existant entre les secteurs;

3) la présence/absence d'or microscopique dans les échantillons; 4) l'influence du dyke protérozoïque sur les zones minéralisées dans le secteur Astoria et 5) la source probable de l'or.

Pour répondre à ces questions, plusieurs étapes ont été réalisées, notamment des études de terrain, plusieurs phases d'échantillonnage, une étude bibliographique, des observations macroscopiques sur des carottes de forage, des observations microscopiques réalisées aux microscopiques optique (MO) et électronique à balayage (MEB) sur 36 lames minces, des observations nanoscopiques par spectrométrie de masse avec plasma couplée par induction (LA-ICP-MS), des analyses géochimiques sur les échantillons et sur certains sulfures présentant des zonations.

36 lames minces polies ont été réalisées dans les quatre secteurs Augmitto, Cinderella, Lac Gamble et Astoria. Les observations macro-, micro- et nanoscopiques permettront de détailler les différents habitus de l'or mais également de déterminer s'il existe ou non des caractéristiques minéralogiques propres au secteur Astoria.

La source de l'or, le long de la zone de faille, n'a jamais été résolue : l'or pourrait provenir des shales noirs comme dans le cas du gisement Sukhoi Log, en Sibérie (Large *et al.*, 2007), ou alors des roches mafiques et/ou ultramafiques comme dans le cas de la mine Lapa, en Abitibi, (Simard, 2013) ou encore il pourrait être la conséquence de phases métamorphiques comme dans le cas du gisement Bhukia-Jagpura, en Inde (Deol *et al.*, 2012). Ne pourrait-il pas provenir de la combinaison de ces trois précédents modèles, avec l'or dans les shales noirs, l'or dans les roches ultramafiques et l'or associé à une phase de métamorphisme ?

Ce mémoire est présenté sous forme d'un article scientifique qui sera soumis dans une revue scientifique qui traite de la géologie économique. L'article a été rédigé par le premier auteur. Le second auteur et directeur de maîtrise, est Michel Jébrak. Ce dernier a apporté de nombreuses pistes pour orienter la recherche et il a grandement participé à la relecture, au suivi et au soutien financier.

À la suite de l'article se trouvent les appendices avec, dans l'ordre, les sections verticales avec la localisation des échantillons, la méthode analytique pour les analyses et les cartographies réalisées sur les pyrites par spectrométrie de masse couplée par induction, la méthode analytique réalisée sur les particules d'or visible ainsi que les analyses géochimiques des échantillons et des pyrites.

Références

- Bedeaux, P., Pilote, P., Daigneault, R., & Rafini, S. 2014. «Synthesis of the structural evolution and associated gold mineralization of the Cadillac fault, Abitibi, Canada». *2014 GSA Annual Meeting* in Vancouver, British Columbia.
- Deol, S., Deb, M., Large, R. R., & Gilbert, S. 2012. «LA-ICPMS and EPMA studies of pyrite, arsenopyrite and loellingite from the Bhukia-Jagpura gold prospect, southern Rajasthan, India: Implications for ore genesis and gold remobilization». *Chemical Geology*, 326, 72-87.
- Dimroth, E., Imreh, L., Goulet, N., & Rocheleau, M. 1983. «Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Quebec. Part III: Plutonic and metamorphic evolution and geotectonic model». *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20(9), 1374-1388.
- Dubé, B., & Gosselin, P. 2007. «Greenstone-hosted quartz-carbonate vein deposits». *Mineral Deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, 5*, p. 49-73.
- Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Robert, F., & Hart, C. J. 2003. «Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance». *Economic Geology*, 98(1), 1-29.
- Kerrick, R., & Wyman, D. 1990. «Geodynamic setting of mesothermal gold deposits: An association with accretionary tectonic regimes». *Geology* 18.9: 882-885.
- Large, R. R., Maslennikov, V. V., Robert, F., Danyushevsky, L. V., & Chang, Z. 2007. «Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log deposit, Lena gold province, Russia». *Economic Geology*, 102(7), p. 1233-1267.
- Rabeau, O., Legault, M., Cheilletz, A., Jébrak, M., Royer, J. J., & Cheng, L. Z. 2010. «Gold potential of a hidden Archean fault zone: the case of the Cadillac-Larder Lake Fault». *Exploration and Mining Geology*, 19(3-4), p. 99-116.

- Robert, F., 2001. «Syenite-associated disseminated gold deposits in the Abitibi greenstone belt, Canada». *Mineralium Deposita*, 36(6), pp.503-516.
- Robert, F., & Brown, A. C. 1986. «Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi greenstone belt, Quebec; Part I, Geologic relations and formation of the vein system». *Economic Geology*, 81(3), 578-592.
- Robert, F., & Poulsen, K. H. 1997. «World-class Archaean gold deposits in Canada: An overview». *Australian Journal of Earth Sciences*, 44(3), 329-351.
- Sibson, R. H., Robert, F., & Poulsen, K. H. 1988. «High-angle reverse faults, fluid-pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits». *Geology*, 16(6), 551-555.
- Simard, M., Gaboury, D., Daigneault, R., & Mercier-Langevin, P. 2013. « Multistage gold mineralization at the Lapa mine, Abitibi Subprovince: insights into auriferous hydrothermal and metasomatic processes in the Cadillac–Larder Lake Fault Zone». *Mineralium Deposita*, 48(7), p. 883-905.

MINERALOGICAL STUDY OF THE AURIFEROUS SHEAR ZONE ALONG THE AUGMITTO-ASTORIA SEGMENT IN THE CADILLAC BREAK SOUTH TO ROUYN-NORANDA, ABITIBI, QUEBEC

Abstract

The Cadillac-Larder Lake fault zone (CLLF) is a well-known structure holding major gold deposits (Kerrick and Wyman, 1990; Robert and Poulsen, 1997; Robert, 2001; Groves *et al.*, 2003). Along this deformation corridor, four lithological sequences have been studied in the Rouyn-Noranda area: i) ultramafic rocks of the Piché Group; ii) black shales as well as hanging wall and footwall sediments of the Timiskaming Group; iii) Archean albitite dykes and iv) the Proterozoic dyke. These lithological sequences have been observed along the Augmitto-Astoria segment, south to Rouyn-Noranda, Québec. The orogenic regional metamorphism is at greenschists facies (Dimroth *et al.*, 1986; Robert and Brown, 1986; Sibson *et al.*, 1988). Arsenopyrite, pyrite and pyrrhotite are the dominant sulphides observed in the ultramafic and sedimentary rocks. SEM and LA-ICP-MS analyses have been carried out on pyrite and arsenopyrite with zonings. In ultramafic rocks, gold is invisible within the As-rich core of hydrothermal pyrites and visible as free particles in the matrix. In the Timiskaming Group, no particles of gold have been observed in the hanging wall sediments that nonetheless contain numerous antimony minerals such as ullmannite (NiSbS), Sb-chalcopyrite (Cu_2SbS_4), famatinite (Cu_3SbS_4) and tetrahedrite ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$). In footwall sediments, gold is invisible as inclusions and within the hydrothermal pyrite structure as well as visible with particles associated with large clusters of arsenopyrite. Black shales contain framboïdal pyrites with invisible gold in their structure. The Archean albitite dykes are mineralized in arsenopyrite, pyrite and gold. The Astoria sector is of peculiar interest because of the sterile Proterozoic dyke that is responsible for: 1) a metamorphic halo at the limit between the superior greenschists and the amphibolite facies; 2) the presence of gold particles, whose size does not exceed 20 microns, located at the interface of loellingite and arsenopyrite crystals; 3) an average gold/silver ratio exceeding 10:1, which is higher than any other places along the Augmitto-Astoria corridor and 4) the presence of mineralized skarns. By studying thirty six thin sections, three episodes of gold mineralization have been observed: 1) an early gold mineralization stage, older than 2.67 Ga., characterized by auriferous framboïdal pyrites in the black shales; 2) a syn-tectonic auriferous event, posterior to the sediments deposition, characterized by the presence of auriferous hydrothermal pyrites in both ultramafic rocks of the Piché Group and footwall sediments of the Timiskaming Group and 3) a late gold remobilizing event, contemporaneous with the Proterozoic dyke intrusion, with particles of gold trapped at the interface between arsenopyrite and loellingite. The gold concentration in the Cadillac break south of Rouyn-Noranda results therefore from the combination of late Archean and Proterozoic events.

KEYWORDS: Cadillac fault, pyrite, arsenopyrite, gold, invisible, antimony, greenschists, Proterozoic dyke.

INTRODUCTION

The Cadillac-Larder Lake Fault Zone (CLLFZ) is a large crustal scale east-west trending deformation zone located at the limit between two Archean Subprovinces: the Abitibi greenstone belt, to the north, and the Pontiac Superior Subprovince, to the south (Dimroth *et al.*, 1983; Lajoie and Ludden, 1984; Couture, 1996). With a gold production superior to 4 200 tons, the CLLFZ hosts numerous worldwide mining camps such as Kirkland Lake, Kerr Addison, Rouyn-Noranda, Cadillac, Malartic, Matachewan and Val d'Or (Rabeau *et al.*, 2010; Rafini, 2014). The majority of ore deposits are located in second to third-order structures, at the transition between ductile and brittle segments (Jébrak and Marcoux, 2008; Rafini, 2014). However, locally, it could be directly associated with first-order structures, such as the McWatters mine and the Grenada deposit (Simard *et al.*, 2013). First-order structures are poorly understood but they seem to be economically more important than primary thought: a strong correlation exists between gold deposits and these first-order structures (Eisenlohr *et al.*, 1989; Robert *et al.*, 1995; Robert and Poulsen, 1997; Kerrich *et al.*, 2000).

Along large deformation corridors of the CLLFZ, several hypotheses have been proposed to explain the origin of gold but none succeed to satisfy both observations and analyses. One of the hypotheses is that gold could come from a deep source associated with the mafic and ultramafic rocks (Groves *et al.*, 2003). One another possibility is that gold could come from a shallow source within the black shales, in the structure of sedimentary pyrites (Large *et al.*, 2007, 2011 and 2014; Deol *et al.*, 2012). The third hypothesis suggests that gold could be associated with intrusive rocks, such as the albitite dykes (Rabeau *et al.*, 2010). A theory widely adopted for orogenic gold deposits, along a crustal-scale fault such as the CLLFZ, involves the migration of hydrothermal fluids from a deep source using the fault zone as a conduit to reach shallower depths. This theory, known as the continuum model (Colvine, 1989; Groves 1993; Groves *et al.*, 1998; Groves *et al.*, 2003), implies an early and nonetheless unique gold mineralization stage.

Yorbeau Resources is an exploration company based in Rouyn-Noranda, Abitibi, Canada (Figure 1.1a). One of its property lies along the CLLFZ and contains two ancient gold mines: 1) the Astoria gold mine, with a gold production of 163 000 tons at 5.3 g/t (Eugene et al., 2002) and 2) the Augmitto mine, with inferred resources of 633 000 tons at 7.8 g/t (Yorbeau Resources Inc., 2011). Few kilometers away from the property lies the Lac Pelletier's mine with inferred resources of 419 514 t at 8.37 g/t (Thundermin Resources Inc., 2009).

This property is of peculiar interest for three reasons: 1) little has been studied concerning the various habitus of gold and their mineralogical associations; 2) it is directly in contact with the CLLFZ therefore precious and reliable data can be obtained on this fault and 3) it contains one major gold mine, the Astoria mine, located along the Proterozoic dyke. This study focuses on four sectors: Augmitto, Cinderella, Lac Gamble and Astoria, which are thought to be the richest gold-bearing zones in the property.

This paper has three different objectives: 1) to get useful data concerning the various kinds of minerals that are associated with gold and its habitus in order to define the differences between the various lithological units that have been observed on the Yorbeau Resources's property, 2) to better understand the effects of the intrusive rocks, in particular the Proterozoic dyke, on the mineralization zones and 3) to determine the chronological order of the different auriferous mineralizing events that have been observed along the CLLFZ. By studying the different habitus of gold as well as its association with sulphides, we hope to find precious clues that can help us to better understand the origin of gold.

CHAPTER I GEOLOGY

In the Rouyn Property, three dominant units are found: to the north, the mafic volcanic rocks of the Blake River Group, the alluvial-fluvial sedimentary rocks of the Timiskaming Group and to the south, the sandstone-to-siltstone sediments, schists and gneiss of the Pontiac Group. These two units are overlain by sandstones, siltstones and lenses of conglomerates of the Timiskaming Group, which are intruded by late diabase dykes (Figure 1.1b).

This property covers an east-west zone of 12 km by a north-south zone of 4 km which Yorbeau Resources Company has segmented into the following seven blocks: Augmitto, Cinderella, Durbar, Lac Gamble, Wright-Rouyn, Astoria and Lac Bouzan. Along this corridor, the CLLFZ dips to the north at a 70° angle. The property contains seven different lithological units: 1) the Blake River Group, 2704-2696 Ma (Wyman and Kerrich, 2009), mainly composed of mafic to felsic volcanic rocks; 2) the Piché Group, older than 2710 Ma (Pilote *et al.*, 2014), containing mafic to ultramafic volcanic rocks; 3) the Timiskaming Group, 2682-2669 ± 1.4 Ma (Rafini, 2014), with the greywackes and the conglomerates; 4) the Pontiac Group with a minimum age of 2682 ± 3 Ma (Davis, 2002), composed of sediments and mafic volcanic rocks; 5) a set of Archean albitite dykes, 2673 +6/-2 Ma (Robert and Poulsen, 1997); 6) some Proterozoic diabase intrusive rocks called the Abitibi dykes, 1141 Ma ± 2 Ma (Buchan *et al.*, 1993), which crosscut the units from 1) to 4) and 7) the Proterozoic-age Cobalt Group sedimentary rocks, 2650-2180 Ma (Piper *et al.*, 1976), containing glacial sediments.

The seven lithological units described above are crosscut by five fault zones: the east-west trending Cadillac Larder Lake and Lac Pelletier fault zones, the northeast-southwest Stadacona and Lac Moore fault zones and the northwest-southeast Smokey Creek fault zone (Figure 1.1b). The major east-west striking zone of shearing consists of different lithotectonic units which are strongly deformed and hard to identify. The metamorphic grade of

the rocks underlying the property is green schist facies with a zone of sub-amphibolite facies in the Astoria sector.

Along the Yorbeau Resources Company's property, five deformation phases have been described (Goulet, 1976; Robert, 1989; Poulsen, 2010): the first phase, D1, created folds in both the Blake River and Pontiac Groups while the Timiskaming deposition occurred; the second phase, D2, created E-W folds and foliation with the Granada Syncline. During the third stage, D3, minor folds occurred with cleavage in bedded sedimentary units. During the fourth stage, D4, Z-shaped minor folds occurred with crenulation cleavage while the last stage, D5, conjugates kink bands and may include Proterozoic reactivation.

1.1. Piché Group

The Piché Group is composed of ultramafic rocks which appear to be pinched in the CLLFZ. Along the property, it forms a layer whose width varies from 10-15 meters, in the Lac Gamble sector, but to as much as 100 m in the Augmitto area. Ultramafic rocks are altered komatiites with spinifex textures. They display brecciated textures with dark green colours. They contain veinlets of chlorite, calcite and epidote.

In the Piché Group, mineralized zones are present in komatiites with veins and veinlets of quartz-carbonates-sericite-tourmaline locally fuchsite, which crosscut the ultramafic rocks enriched in carbonates.

1.2. Timiskaming Group

In contact with the Blake River Group, the Timiskaming Group strikes E-W across the property, forming a band of about 1200m in thickness. This formation is dominated by alluvial-fluvial sedimentary rocks which have been divided into four units (Gauthier *et al.*, 1985):

- 1) Centimeter-sized conglomerates and conglomeratic sandstone with a percentage of fragments that vary from 15% to more than 50%. The matrix is composed of microcrystalline quartz-feldspar crystals with muscovite and sericite;
- 2) Lithic wackes that contain around 25% of detritical quartz and feldspars with 5-10% of millimeter-sized rock fragments. The matrix is finely crystallized with quartz, feldspars, muscovite and sericite;
- 3) Mudstones with large grains mainly composed of phyllosilicates and quartz-feldspars materials;
- 4) Felsic tuffs which contain from 25% to 50% of feldspars crystals with millimeter in size fragments. The matrix is composed of quartz-feldspars crystals with sericite and muscovite.

In the Timiskaming Group, the mineralization is: 1) directly in contact with the ultramafic rocks, 2) separated by more than 50 m from them or 3) in the black shales within veinlets of tourmaline.

1.3. Intrusive rocks

Rouyn property is crosscut by two different types of intrusive rocks: the Archean albitite dykes, only present in the Piché Group, and the Proterozoic intrusive rocks that belong to the Abitibi dykes family.

Archean albitite dykes are mineralized intrusive rocks, only a few meters wide, with white to pink colours and sharp and steep contacts with the host rocks. They contain millimeter-sized veinlets of quartz with a medium to strong albitisation. In the Archean albitite dykes, the mineralized zones are present with veins and veinlets of quartz-sericite-carbonates-chlorite

The sterile Abitibi dyke forms a 100m wide northeast-southwest trending lithology with a 50 m wide metamorphic halo that reaches the facies at the limit between the superior greenschists and the amphibolite. The Proterozoic dyke is thought to be responsible for this halo.

1.4. Deformation and metamorphism

In the Augmitto, Cinderella and Gamble sectors, the samples contain minerals such as chlorite, seritice, epidote and carbonates, which are typical of the greenschists facies of regional metamorphism (Robert and Brown, 1986). In the vicinity of the Abitibi dyke of the Astoria sector, the samples contain minerals such as actinolite, epidote and amphibolised biotites, which indicate a metamorphic grade at the limit between superior greenschists and amphibolite.

CHAPTER II METHODOLOGY

Thirty six samples have been carefully chosen to compare the mineralized zones between the Augmitto, Cinderella, Lac Gamble and Astoria sectors. The samples come from: i) the footwall and hanging wall sediments of the Timiskaming Group; ii) the ultramafic rocks of the Piché Group and iii) the albitite dykes. Among these thirty six samples: 1) ten come from the Augmitto sector (five from the Piché Group, four from the Timiskaming Group and one from the albitite dykes); 2) ten come from the Cinderella area (two from the Piché Group, five from the Timiskaming Group and two from the albitite dykes); 3) four come from the Lac Gamble area (one from the Piché Group, three from the Timiskaming Group) and 4) twelve from the Astoria sector (two from the Piché Group, four from the Timiskaming Group, two from the skarns and one from the black shales).

To get geochemical data, three tools have been used on both samples and thin sections: the optical microscope, the scanning electron microscope (SEM) and the laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometer (LA-ICP-MS):

- The SEM observations have been realized at the University of Quebec in Montreal, using a TM3000 coupled with energy dispersive X-ray spectrometer software, called Quantax 70. They have been useful to: 1) determine the gold-silver content for each of the gold particles observed in the thin sections; 2) analyze the sulphides that could not have been detected or recognized by the optical microscope (ex. loellingite) and 3) highlight the sulphide zonings;
- The LA-ICP-MS analyses have been realized at the University of Quebec in Chicoutimi, in the LabMater laboratory. It has been used to geochemically characterize the sulphide zonings. The spectrometer model is a Resolution M-50Excimer (193nm) ArF and the major elements that have been analyzed are S, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Mo, Ag, Sn, Sb, Te, Au, Hg, Tl, Pb and Bi.

CHAPTER III PICHÉ GROUP MINERALIZATION

The Piché Group is divided into three geological sub-zones: the Upper Carbonate Zone (or Lower Piché), the Talc-Chlorite Schist Zone (or Talc-Chlorite schist) and the Lower Carbonate Zone (or Lower Piché) (Figure 3.1). Thirteen thin sections have been realized in the ultramafic rocks: five come from the Augmitto sector, three from the Cinderella area, one from the Gamble area and four from the Astoria sector (Table 3.1).

In this section, the macroscopic and microscopic observations will be detailed. We decided to include the skarns in the Piché Group because of the close relationships between ultramafic rocks and skarns.

3.1. Ultramafic rocks of the Piché Group

All ultramafic rock samples studied here are komatiites: several have their spinifex textures intact. They show aphanitic textures with greyish tints and numerous veinlets of carbonates, fuchsite and chlorite which appear to be parallel to the foliation (Figures 3.2 and 3.3). Except for two samples located in the Astoria sector at the limit between the superior greenschists and the amphibolites facies, with minerals such as epidote and amphibolised biotites (Figure 3.4), samples come from the greenschists facies.

Thin sections have a matrix composed of crystals of quartz and carbonates that are crosscut by folded veinlets (< 200 microns) of quartz, tourmaline, carbonates, chlorite, fuchsite and iron oxides such as ilmenite and hematite (Figure 3.5). Along drill core 08-GA-461 at depth of 310 meters, the samples are crosscut by brittle faults with a sharp point of contact. At the fault contact, the veinlets (< 50 microns) of chlorite and fuchsite disappear. The silicification is strong and several samples contain veins of milky quartz that do not contain ore minerals (Figure 3.6).

Mineralized zones are widespread and associated with folded veins and veinlets of quartz-tourmaline-chlorite-carbonates, locally fuchsite. The mineralization is composed of

arsenopyrite, pyrite, pyrrhotite and chalcopyrite which form veinlets (< 100 microns) parallel to the foliation. Locally, chalcopyrite and pyrite form aggregates within veins of carbonates. Samples either contain tiny cubic crystals of pyrite associated with millimeter-sized veinlets of quartz, tourmaline and carbonates or they could show aggregates of arsenopyrite within centimeter-sized veins of tourmaline. These samples have undergone different alteration phases that seem to have started with silicification followed by sericitisation (associated with tourmalinisation), carbonatation and sulphidation (associated with chloritisation) (Figure 3.7):

- Numerous episodes of silification have been observed: each sample contains veins (2-3 cm) and veinlets (< 500 microns) of quartz crystals with well-defined borders and locally triple pointed ends. Five thin sections located in Cinderella, Augmitto and Lac Gamble sectors contain veins of centimeter-sized crystals of quartz with recrystallization textures: irregular-bordered primary crystals of quartz are crosscut by numerous tiny crystals of quartz fixed along their borders (Figure 3.8). One thin section in the Augmitto sector displays nodules of microcrystalline quartz located in the matrix (Figure 3.9). When associated with carbonates and tourmaline, these veins contain sulphides such as pyrite, pyrrhotite, arsenopyrite and chalcopyrite;
- Sericitisation has only been observed on four thin sections located in Lac Gamble, Cinderella and Astoria sectors. In three thin sections, it occurred as folded veinlets (< 1cm) associated with tourmaline, carbonates and rutile. The thin section located in the Astoria area bears sericite and tourmaline crystals directly in contact with crystals of carbonates (Figure 3.10). Euhedral crystals of tourmaline are either folded and elongated parallel or perpendicularly to the vein direction;
- Carbonatation is the most intense alteration phase, which replaced most of the primary minerals. They either form numerous irregular-bordered anhedral crystals, which may be elongated in the shear direction or folded veins (1-2 cm) and veinlets (< 1cm) of euhedral crystals that are associated with quartz, tourmaline and sulphides, such as pyrite, arsenopyrite, pyrrhotite and chalcopyrite;

- The last alteration phase is sulphidation associated with crystals of chlorite that have been found in the six thin sections located in the Augmitto, Cinderella and Astoria sectors. They form folded veinlets with rutile minerals and sulphides, such as arsenopyrites, pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite and nickeliferous minerals (See section 3.1.1). All sulphides have been submitted to a brecciation phase: they display brecciated textures with numerous fractures that are filled by other sulphides and locally chlorite (Figure 3.11).

3.1.1 Ore mineralogy in the Piché Group

In this section, different ore minerals and their habitus will be detail. Ore minerals observed in thin sections are arsenopyrite, pyrrhotite, chalcopyrite, nickel minerals, pyrite, oxides with minor minerals such as chromite, ilmenite and hematite.

Crystals of arsenopyrite are large crystals (> 50 microns) with fractures, irregular borders and locally inclusions of pyrite, chalcopyrite and pyrrhotite (Figure 3.12). In Astoria sector, large arsenopyrite crystals are associated with loellingite (Figure 3.13) and locally inclusions of pyrrhotite. SEM observations realized on these crystals show that they are composed of two arsenopyrites with different tints: a bright one and a grey one (Figure 3.14). The bright one contains higher values of As, Fe and S than the grey one.

Pyrrhotite crystals have been found in the following habits: 1) as anhedral crystals filling fractures of large crystals of arsenopyrite; 2) as large anhedral crystals (> 1-2 cm) with numerous dissolution textures; 3) as euhedral crystals (< 20 microns) associated with cobaltite, galena and sometimes gersdorffite; or 4) as inclusions within crystals of chalcopyrite (Figures 3.15).

Chalcopyrite minerals are found with different habitus (Figures 3.16), for they could: 1) form fractured anhedral crystals associated with pyrrhotite and arsenopyrite or filling cavities in the arsenopyrite crystals; 2) be associated with pyrite and exsolution of gold particles; 3) be present as inclusions within gersdorffite; or 4) form inclusions associated with pyrrhotite within mackinawite crystals.

In Gamble and Cinderella sectors, numerous tiny crystals of gersdorffite (< 100 microns) have been found: they either are associated with crystals of pyrrhotite or form folded veinlets which crosscut samples. Samples located in Augmitto and Astoria areas contain nickel minerals such as nickeline (NiAs) and skutterudite (FeAs₃). Thin section in the sterile mafic rock from the Augmitto sector has crystals of nickeliferous pyrite (NiFeS₂), millerite (NiS), siegenite (CoNi₂S₄) and lamellae of pentlandite associated with crystals of chalcopyrite in pyrrhotite (Figures 3.17).

Pyrite minerals are barely present in the thin sections studied. They have been found as: 1) nickeliferous anhedral crystals with dissolution texture, fractures and brecciated textures; 2) tiny euhedral crystals (< 100 microns) associated with chalcopyrite and exsolution of gold, 3) sub-euhedral crystals elongated in the shear direction and 4) inclusions within gersdorffite. Some of these pyrites contain numerous zonings, several cavities, regular borders and fractures (Figures 3.18). One of these pyrite crystals has been analyzed by the LA-ICP-MS (see Section 3.1.2).

Most important oxides in ultramafic rocks are ilmenite, chromite, rutile and hematite. They either form folded veinlets (<20 microns) that are associated with gersdorffite, rutile and pyrite, like the thin sections located in the Cinderella and Astoria sectors, or large euhedral crystals (> 50 microns) with corroded borders and skeletal textures, as in the case of the thin section located in Augmitto sector within ultramafic sterile rocks (Figure 3.19).

3.1.2 Gold features in the Piché Group

In the Piché Group, gold has been observed as: i) visible gold associated with sulphides or free in the matrix and ii) invisible gold in the pyrite structure. In this section, we will detail its different habitus.

3.1.2.1 Visible gold in the Piché Group

Macroscopic gold has been identified by the company's geologists (see Gauthier et al., 1990). It has been described as centimeter-sized particles of gold that are either along the border or within veins of quartz-carbonates \pm tourmaline.

Visible particles of gold have been found within two thin sections, in the Astoria and in the Augmitto sectors:

- In the Augmitto sector, the size of particles of gold varies between 10 and 30 microns and they have been found either as free gold within the matrix or at the interface between pyrite and chalcopyrite (Figure 3.20a). The Au/Ag content varies between 8.24 and 11.22;
- In the Astoria sector, the thin section contains gold particles around 5-10 microns each and an Au/Ag content that varies between 5.33 and 7.17. These particles have been found at the interface between loellingite and arsenopyrite (Figure 3.20b).

3.1.2.2 Invisible gold in the Piché Group

LA-ICP-MS analyses have been carried out on one hydrothermal pyrite that comes from the carbonaceous schists of the Cinderella sector. Optical microscope observations concluded that this pyrite contains important zonings: the core displays a primary pyrite with blue-purple tints while the rim shows a yellowish tint with several cavities as well as chalcopyrite inclusions (Figure 3.21).

By realizing LA-ICP-MS analyses, it is possible to determine if invisible gold is present within the zonings. Gold is qualified as "invisible" when its size does not exceed 1 000 Å, equivalent to 10 microns (Deol *et al.*, 2012). LA-ICP-MS mapping indicates that the core is enriched with Fe, Cu, As, Ag, Sb and Au, with an average gold content which exceeds 18 ppm. Geochemical elements such as Cr, Mn, Co, Ni, Cu, As, Mo and Pb are located with the pyrite structure (Table 3.2). The rim is enriched with Cr, Co and Ni, with a gold content that does not exceed

60 ppb (Figures 3.22). The core of this pyrite bears the highest gold content of all the eight pyrites analysed by LA-ICP-MS. This pyrite

3.2 Metamorphic rocks

In the Astoria sector, the Abitibi dyke is a sterile intrusive rock that is thought to be responsible for a metamorphism halo, around 50 meters wide, that reaches the limit between the superior greenschists and the amphibolite facies, as well as the forming of skarns.

Two samples have been taken from the skarns of the Astoria sector: one has been taken from a sterile skarn, while the other one comes from a gold-bearing skarn. Both the sterile and mineralized skarns are dark magnetic samples, uniform, crosscut by millimeter-sized veinlets of chlorite, quartz and locally tourmaline (Figure 3.23). As expected of the sterile skarn, no visible particles of gold have been found even though the geochemistry analyses give a gold content of approximately 23 ppb. The mineralized skarn contains sulphides such as arsenopyrite, gersdorffite, nickeline and loellingite.

Visible particles of gold have been observed at the interface between arsenopyrite and nickeliferous loellingite (NiFeAs_6) (Figure 3.24). Its gold content reaches 293 ppb with gold particles around 1-2 microns wide, and a rather high Au-Ag ratio, around 16. Major geochemical differences between the sterile and the mineralized samples come from oxides such as SiO_2 , MgO , Na_2O and K_2O (Table 3.3). These differences can be explained by the presence of numerous folded veinlets of hematite (< 1 mm) that have been found in the mineralized skarn (Figure 3.25). Geochemical elements such as Au, As and Ba are enriched in the mineralized skarn while Zr, Sr, V, Cu, Zn and Sb are enriched in the sterile skarn.

CHAPTER IV TIMISKAMING GROUP MINERALIZATION

Sediments of the Timiskaming Group form an east-west trending geological unit composed of greywackes and conglomerates. The predominant facies to the north is greywacke, except for Astoria where it's conglomerate. To the south, this is a succession of greywacke and conglomerate. This Group hosts several gold mines, including, from west to east, McWatter, Granada, Astoria and Dovercliff (Figure 1.1b). In the Augmitto, Cinderella and Lac Gamble sectors, the sediments have undergone the greenschists metamorphic facies, while the rocks of the Astoria sector have undergone a higher degree of metamorphism, at the limit between the superior greenschists and the amphibolite facies. Black shales are present everywhere along the company's property and are generally located in contact between the ultramafic rocks of the Piché Group and the sediments of the Timiskaming Group. Even if their lithological Group has not yet been defined, in this paper we decided to include the black shales within the Timiskaming Group because they are described as graphitic argillite and they are made of ferrous mudstones.

Twenty thin sections have been studied in the Timiskaming Group: twelve come from the footwall sediments, four from the hanging wall sediments and four from the black shales (Table 4.1). In the footwall sediments, three samples come from the Augmitto sector, four from the Cinderella area, one from the Lac Gamble and four from the Astoria sector. In the hanging wall sediments, one sample comes from Augmitto and Cinderella sectors and two from Lac Gamble. All four black shales samples come from the Astoria sector.

Except the habit of sulphides elongated in the shear direction and the presence of antimony minerals in the mineralization zones within the hanging wall, no major differences have been observed between the footwall and the hanging wall sediments: they are foliated, contain veins and veinlets of milky quartz, carbonates and sulphides as well as medium to finely crystallized minerals with greyish tints (Figures 4.1). Locally the samples contain veins (2-5 cm) of milky quartz but this kind of vein does not contain any gold mineralization.

Both the hanging wall and the footwall rocks have a matrix mainly composed of quartz, carbonates, tourmaline, sericite, zircons and locally newly formed crystals of plagioclases with veinlets of carbonates, quartz, tourmaline, biotite, muscovite associated with rutile and monazite. In the vicinity of the Proterozoic dyke of the Astoria sector, the surrounding rocks contain actinolite, epidote and amphibolised biotites (Figure 4.2).

The mineralized zones are widespread and associated with veins (1-2 cm) and veinlets (< 50 microns) of quartz-carbonates-tourmaline-biotite that contain sulphides such as arsenopyrite, pyrrhotite, pyrite and chalcopyrite. They also contain minor minerals such as chromite, gersdorffite and ullmannite. One thin section located in the Cinderella segment has been chosen because it was thought to be sterile by the company's geologists; its average gold content reaches around 40 ppb.

These mineralized zones have been found in samples that have undergone different alteration stages. Except for the tourmalinisation, most of the alteration patterns which have been found in the Timiskaming Group are similar to those found in the Piché Group (Figure 4.3). The tourmaline crystals are either located within veins and veinlets of quartz or in the matrix. When located in the veins and veinlets of quartz, they seem to be syndeformation with large euhedral crystals elongated perpendicularly to the vein direction. When they are located in the matrix, they show numerous elongated crystals forming millimeter-wide folded veinlets. The sulphides have been submitted to a brecciating phase with fractures that are filled by other sulphides.

In both samples and thin sections, auriferous mineralization zones within the footwall sediments occur to a greater extent than in the hanging wall: numerous visible particles of gold have been observed in the footwall whereas no particles have been found in the thin sections within the hanging wall sediments. SEM and LA-ICP-MS analyses have been carried out on pyrites and arsenopyrites in the footwall. These analyses revealed that invisible gold is present as inclusion as well as within the pyrite structure (See Section 4.1.2).

In the Astoria sector, the black shales form a layer whose wideness reaches around 20 meters. The samples are dark, with a matrix composed of tourmaline, chlorite, carbonates,

amphibolised biotites and glaucophanes, as well as framboïdal pyrites and veins (> 1 mm) of arsenopyrite and chalcopyrite that crosscut the veins of quartz (Figure 4.4). These rocks are the only samples containing crystals of glaucophane with amphibolised biotite.

They also contain different generations of sulphides: 1) tiny crystals of pyrite and arsenopyrite elongated in the shear direction crosscut by 2) folded veinlets of framboïdal crystals of pyrite and 3) folded veinlets of chalcopyrite, pyrite, arsenopyrite and pyrrhotite crosscutting the vein of quartz-carbonates. Sulphides display a chlorite halo all around the crystals and they are mainly located in zones with crystals of tourmaline, sericite and carbonates.

4.1 Timiskaming mineralization in the footwall

4.1.1 Ore mineralogy in the footwall

In the footwall sediments, the main sulphides are arsenopyrite, pyrite, pyrrhotite and loellingite while the minor minerals are sphalerite, chromite, gersdorffite and ullmannite. In this section, the different habitus of gold as well as the different zonings will be described. Most of the samples in the footwall sediments contain crystals of arsenopyrite and pyrite with various zonings that have been observed by LA-ICP-MS.

4.1.1.1 Arsenopyrite

Arsenopyrite crystals constitute the major sulphides present in the footwall sediments. They often have fractures and/or cavities filled by minerals such as pyrite, chalcopyrite, pyrrhotite or gold. Closer examination has revealed two main habitus: 1) fine zoned euhedral crystals (< 50 microns) and 2) large zoned anhedral crystals (> 2 cm).

The fine euhedral crystals of arsenopyrite are mainly located in the Astoria sector. They are fractured and contain dissolution textures and multiple zonings (Figures 4.5). Depending on the crosscut angle of the sulphide, it displays two different structures: rod and diamond-

shaped sulphides. No visible particles of gold have been identified in these euhedral crystals. One thin section in the Augmitto sector contains a folded veinlet of arsenopyrite crosscutting a vein of quartz and carbonates (Figure 4.6).

The large fractured anhedral crystals are mainly located in the shear fractures of the Cinderella and Astoria sectors. In the Cinderella sector, the border of these crystals contains numerous dissolution textures and the fractures are filled by pyrite, chalcopyrite and locally gold (Figure s 4.7). In the Astoria sector, the zonings are less visible than in the Cinderella sector. They are associated with loellingite and display dissolution textures with irregular borders and inclusions of chalcopyrite and pyrrhotite (Figures 4.8).

LA-ICP-MS analyses have been carried out on three arsenopyrites with zonings: two of these arsenopyrites come from the footwall sediments of the Cinderella and Astoria sector and one from the black shales in the Astoria sector:

- Within the Cinderella area, in the footwall sediments of the shear fracture, analyses have been carried out on a large cluster of 3 cm wide arsenopyrite with zonings (Figures 4.9). The core of this large crystal is well crystallized; with several dissolution textures. It contains inclusions of pyrite and gold and locally has pyrite, chalcopyrite and visible gold filling its fractures. Its rim has irregular borders with numerous dissolution textures. LA-ICP-MS analyses reveal that Co, Ni, Cu, Sb and Pb are present within the crystal's structure. The average gold content is 120 ppb in the core and exceeds 210 ppb on the rim;
- Within the Astoria sector, LA-ICP-MS analyses have been carried out on two crystals of arsenopyrite: one is a centimeter-sized anhedral crystal with irregular borders, dissolution textures and inclusions of loellingite, pyrrhotite and galena (Figure 4.10a). Within this crystal, two generations of arsenopyrites have been identified: the first is well crystallized and contains crystals of loellingite and particles of gold, while the second has inclusions of pyrrhotite and numerous dissolution textures. The structure of this sulphide contains Mn, Co, Ni, Zn, Sb, Au, Pb and Bi. It has an average gold content of as much as 1.28 ppm, this exclude the gold content of the

visible particles. The second one contains anhedral crystals elongated in the shear direction with porous textures and irregular borders (Figure 4.10b). The structure of this sulphide contains Cr, Mn, Co, Ni, Cu and Sb. It has an average gold content of as much as 190 ppb.

4.1.1.2 Pyrites

Four groups of pyrites could be distinguished on the basis of differences in texture, structure and geochemistry: 1) pyrites elongated in the shear direction with oxide inclusions; 2) pyrites with replacement textures ; 3) zoned pyrites with a well-crystallized core and dissolution textures on the rim and 4) pyrite crystals trapped and filling the fractures of large clusters of arsenopyrite. Except for the last category, no visible particles of gold have been found associated with these pyrites. LA-ICP-MS analyses have been carried out on eight crystals of pyrite: each one of them has an As content varying from 101 to 6 620 ppm. One framboïdal pyrite, Py-Douay, comes from the black shales of the Douay sector and it has only been used to compare the results with other pyrites along the Augmitto-Astoria sector (Tables 4.2 and 4.3

Pyrites elongated in the shear direction

This habitus is located in the black-shales in the Astoria segment as well as in the hanging wall sediments. In the black shales of the Astoria sector, the large sulphides are elongated in the shear direction and associated with arsenopyrite crystals. They contain numerous dissolution textures and/or inclusions of iron-oxides (Figures 4.11).

Two kinds of pyrites have been analysed by LA-ICP-MS: one pyrite crystal with yellowish tint and dissolution textures (Py-12) and the other one displays a light tint (Py-14):

- The first kind of pyrite contains numerous cavities and porous textures. It measures around 30 µm wide by 180 µm long. Present in its structure are geochemical elements such as Ti, Cr, Mn, As, Au and Pb. Its average gold content reaches 2 190

ppb, which makes it one of the richest gold bearing sulphides analyzed by LA-ICP-MS.

- The other pyrite is hard to distinguish from arsenopyrite due to its light colour. It contains numerous iron-oxide inclusions and dissolution textures. These inclusions are located on the rim whereas the core does not contain any of them. It measures 30 μm wide by 150 μm long. The LA-ICP-MS analyses reveal that its structure contains Ti, Cr, Mn, Ni, Cu, As, Se and that the gold content of this pyrite is very low: it does not exceed 40 ppb with only a couple of inclusions.

Pyrites with replacement textures

In this group, two pyrites have been studied. The first one is found in the Cinderella segment located inside a shear fracture composed of quartz-tourmaline-carbonate crystals within the footwall sediments (Figures 4.12a, b). This pyrite, Py 3-2, is surrounded by large euhedral crystals of arsenopyrite. It has a porous texture and contains replacement figures of triangular shaped sulphides. LA-ICP-MS analyses reveal that elements such as Ti, Cr, Mn, Ni, Cu, As, Se, Mo, Ag, Sb, Au, Pb and Bi are present within the pyrite structure. Geochemical elements such as Ni and Co evolve in the same way on the rim and in the core. The pyrite size is around 300 μm wide by 300 μm long with an average gold content that reaches 2 320 ppb.

The other pyrite, Py-13, is located in the black shales in the Astoria sector (Figures 4.12c). Framboïdal pyrites form veinlets with dissolution textures and replacement figures of hexagonal and triangular shaped sulphides, depending on the angle at which it is cut. It measures up to 300 μm wide by 400 μm long. These crystals do not contain any visible particles of gold, but they have an average gold content of 470 ppb in the core and 1 420 ppb on the rim. The structure of these crystals contains geochemical elements such as Ti, Cr, Mn, Co, Ni and As. The LA-ICP-MS analyses reveal that Cu, Ag, Sb, Tl and Pb are present in the core. Geochemical elements such as Co, Ni, As, Mo, Sb, Au, Tl, Pb and Ti form various concentric rings.

Zoned pyrites with a well-crystallized core and dissolution textures on the rim

This kind of pyrite has been observed within the shear fracture in the footwall sediments of the Cinderella sector. It has peculiar textures: the core appears to be well-crystallized, without inclusions or cavities, and the rim has irregular brecciated borders with numerous dissolution textures and locally dendritic recrystallization textures. It has barely any visible gold particles and it is often associated with arsenopyrite crystals. From this category, three pyrites have been analysed; they can be described as follow:

- The first one, Py102, is a cubic crystal of pyrite without mineral inclusions or dissolution textures. Locally, this kind of pyrite displays late dendritic recrystallization textures and zonings (Figures 4.13a, b). Analyses have been carried out on one cubic pyrite crystal, 300 μm in size, located in the Cinderella area within a shear fracture. The pyrite crystal's structure contains elements such as Ti, Cr, Mn, Cu, As, Se, Mo and Pb. The bond between Cu and Zn, as well as As and Au are strong in this pyrite crystal. Its average gold content does not exceed 150 ppb;
- The second one, Py-3, is associated with a euhedral crystal of arsenopyrite and is crosscut by fractures associated with geochemical elements such as Ni and Co. It has late dendritic recrystallization textures (Figure 4.13c). The structure of this pyrite contains the elements Ti, Cr, Mn, Cu, As, Se, Mo, Ag, Au, Pb and Bi. The pyrite crystal is 1 mm wide by 2 mm long. Its average gold content varies from 210 ppb at its core to 120 ppb on its rim;
- The last one, Py-4, is smaller than the others and does not display dendritic recrystallization textures (Figure 4.13d). It is crosscut by fractures enriched with Co. It can be as wide as 600 μm . Its structure contains elements such as Ti, Cr, Mn, Cu, Zn, As, Se, Mo, Ag, Sb, Pb and Bi with an average gold content of 330 ppb at the core and 150 ppb on its rim.

Pyrites trapped within large clusters of arsenopyrite

In this group, pyrites are either trapped within big clusters of arsenopyrite or tend to fill any fractures in the crystal. These pyrites are mainly located inside the shear fractures of the footwall sediments in the Cinderella sector. They do not have any peculiar structures or dissolution textures, but they contain numerous particles of gold and galena (Figure 4.14). They measure around 100 μm wide by 300 μm long. Gold particles are either associated with this pyrites or filling the arsenopyrite fractures. The LA-ICP-MS analyses have been carried out on one pyrite crystal, Py-11, located in the Cinderella segment. The structure of this pyrite contains Ti, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, As, Se, Sb, Pb and Bi. Average gold content exceeds 18 ppm but this value only represents the visible particles of gold, not the invisible ones.

4.1.1.3 Pyrrhotite

Pyrrhotite is the second most important sulphide present in the footwall sediments. Three different mineral habits for pyrrhotite have been found: 1) the pyrrhotite is associated with arsenopyrite crystals that form inclusions and fill fractures and/or cavities, 2) it is present as euhedral crystals within veinlets of carbonates and irregular borders containing lamellae of pentlandite (Figures 4.15) or 3) it is associated with other sulphides such as pyrite and chalcopyrite crystals.

4.1.1.4 Loellingite

Loellingite has only been identified in the thin sections from the Astoria sector, in the vicinity of the Abitibi dyke. These thin sections have a matrix composed of actinolite, epidote and amphibolised biotite crystals, at the limit between the superior greenschists and the amphibolite facies. Loellingite is present in large, zoned clusters of arsenopyrite associated with chalcopyrite and particles of gold (Figure 4.16).

4.1.1.5 Minor minerals

The minor ore minerals that have been observed either locally or in a very low concentration are sphalerite, chromite, mackinawite, gersdorffite, ullmannite, rutile, monazite and native silver. They are located within the matrix, whether in the vicinity or within veins and veinlets of tourmaline-mica-carbonates (Figures 4.17).

Monazites crystals have been identified in seven thin sections found in the following habitus: 1) in the matrix, 2) in the vicinity of veins and veinlets of quartz-carbonates and 3) associated with rutile and arsenopyrite. They are not any larger than 20 microns, which makes the dating process by U-Th difficult. The SEM analyses of these monazites reveal a La, Ce and Nd content that varies from 1 to 6 % for each element.

4.1.2 Gold in the footwall

In the footwall sediments of the Timiskaming Group, both visible and invisible gold have been observed. In this section, we will detail the four different habitus of gold as well as the presence of invisible gold in the sulphide structure.

4.1.2.1 Visible gold in the footwall sediments

Four different habitus have been identified in the footwall sediments of the Cinderella and Astoria sectors:

- 1) Gold can be associated with pyrites that appear to be trapped within large clusters of arsenopyrite. Gold particles are present in the vicinity of pyrites, either included or filling its fractures. The particles range from 4 to 100 microns in size (Figure 4.18a);
- 2) Gold can also be associated with arsenopyrite (Figure 4.18b). This is the most frequent association observed under the microscope. It could include or fill the crystal's fractures. The gold particles range from 2 to 80 microns in size;

3) Gold is also present as free gold within the matrix with particles that can vary from 10 to 100 microns in size (Figure 4.18c).

4) Gold can also be present as an exsolution at the interface between arsenopyrite and loellingite. In this case, the gold particles vary between 2 and 10 microns in size;

The first three habitus have been found in both the Cinderella and Astoria sectors while the association between loellingite, gold and arsenopyrite has only been observed in the Astoria area. For each visible gold particle observed under microscope, the gold-silver ratios were calculated on the basis of the SEM examination results (Appendix C). These ratios range from 1.73 to 5.44 in the Augmitto, Cinderella and Lac Gamble areas while it varies between 5.33 and exceeds 16 in the Astoria sector. Several particles of native silver have been found in the matrix of the sample from the Cinderella area, which was originally thought to be sterile by the company's geologists. Several nuggets of gold have also been observed in the quartz-carbonate veins.

4.1.2.2 Invisible gold in the footwall sediments

Eight pyrites and seven arsenopyrites have been analysed by LA-ICP-MS; they come from the following sites: 1) three pyrites and one arsenopyrite come from the black shales of the Astoria sector; 2) five pyrites and four arsenopyrites come from the footwall sediments of the Cinderella area and 3) two arsenopyrites come from the footwall sediments of the Astoria sector.

Gold bearing pyrites

LA-ICP-MS mapping and quantitative data have provided information about invisible gold. Only three of the pyrites analysed display interesting zonings:

- Located in the black shales of the Astoria area, framboidal pyrites display concentric crystallization of gold. In this kind of pyrite, invisible gold forms, at least, two concentric rings: the first and most important one is located at an intermediate

position between the core and the rim and the second one is located on the rim. Au and As are the two geochemical elements that have been observed in the first ring. On the crystal rim, Au is associated with As, Sb, Tl, Pb and Bi. Ag also has two distinct zonings: it is mainly concentrated in the core, but it also forms a concentric ring on the rim. Other geochemical elements, like Cu, Sb, Tl and Pb, have been observed in the rings (Figures 4.19);

- Within the shear fracture in the footwall sediments of the Cinderella sector, there are hydrothermal pyrites, with the following distinct zonings: the core is well crystallized, while the rim contains numerous porous textures and brecciated structures. In these pyrites, invisible gold is present in the core and fills the fractures that crosscut the sulphides. Gold is associated with Mn, Fe, Se, Sb and Bi (Figures 4.20);
- One of the sedimentary pyrite, which is located in the back shales of the Astoria segment, has an elongated structure and it is highly depleted in gold. It contains several iron-oxide inclusions and its gold content does not exceed 40 ppb, which makes it the least gold bearing sulphide analysed.

Gold has been found within the structure of three pyrites: one pyrite located in the black shales of the Astoria sector, as well as two pyrites located in the footwall sediments of the Cinderella sector. Most of the pyrites are enriched in Cr, Mn, Co, Ni, Cu, As, Pb and Bi.

Gold bearing arsenopyrites

Seven arsenopyrites have been analyzed by LA-ICP-MS. In the large cluster of arsenopyrite crystals, from the footwall sediments of the Cinderella area, the LA-ICP-MS mapping reveals that gold is present as inclusion and is mainly located on the rim of the crystals. In the euhedral crystals from the footwall sediments of the Astoria sector, inclusions of invisible gold appear to be present in the well-crystallized zone. In the black shales of the Astoria sector, the mapping reveals that invisible gold is present as nuggets widespread throughout the crystal (Figure 4.21). Arsenopyrite crystals therefore contain inclusions of invisible gold but they do not seem to contain any invisible gold in their crystal's structure.

Invisible gold has therefore been identified under two forms: i) within the sulphide structure, meaning that it is primary in origin (Deol et al., 2012), or ii) as nanometric inclusions, that supposes it is secondary in origin.

4.2 Timiskaming mineralization in the hanging wall

Ore mineralogy in the hanging wall

On four thin sections taken from the sediments of the hanging wall, no visible particles of gold have been found. Geochemistry analyses measured a gold content varying from 4.6 ppb to 5 ppm with two samples at 150 ppb and 190 ppb.

Pyrite, arsenopyrite and pyrrhotite constitute the main sulphides observed in the hanging wall sediments. They are elongated in the shear direction (Figures 4.22) and can be associated with antimony crystals. In this paper, we detail the different habitus of the pyrite, arsenopyrite, pyrrhotite and antimony minerals. The minor minerals are mackinawite, sphalerite, chromite, thorite, thorianite, nickeliferous realgar, rutile and monazite.

4.2.1 Pyrite

Pyrites crystals are large, fractured with rounded borders and are elongated in the shear direction. These crystals have zonation with some large cavities and a rim with dissolution textures. The fractures are filled with minerals such as ullmannite or famatinite (Cu_3SbS_4) (Figure 4.23). Pyrite crystals can be associated with chalcopyrite and arsenopyrite.

4.2.2 Arsenopyrite

Two different habitus have been identified for arsenopyrite: 1) large euhedral (> 100 microns) and 2) tiny euhedral crystals (< 50 microns). These crystals are elongated in the shear direction and display triangular, rod and diamond-shaped crystals, depending on the angle at which they have been cut (Figures 4.24).

4.2.3 Pyrrhotite

Pyrrhotite crystals are barely present in the hanging wall sediments. They have been identified in two different habitus: 1) tiny elongated crystals (< 30 microns) forming rods elongated in the shear direction and euhedral crystals associated with arsenopyrite, pyrite, chalcopyrite or galena.

4.2.4 Antimony minerals

Except for one sample from ultramafic rocks, all the other antimony minerals that have been observed in the thin sections come from the hanging wall sediments. These antimony minerals are either associated with pyrite, chalcopyrite and pyrrhotite or free in the matrix (Figures 4.25). The antimony minerals are ullmannite (NiSbS), Sb-chalcopyrite (Cu_2SbS_4), famatinite (Cu_3SbS_4) and tetrahedrite ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$).

4.2.5 Minor ore mineralogy

The four thin sections from the hanging wall sediments contain minor sulphides and oxides such as mackinawite, sphalerite, chromite, thorite, thorianite, nickeliferous realgar (NiAs_2S_2), rutile and monazite. Due to the small size (around 20 microns) of the coffinite (USiO_4) and thorite (ThSiO_4) crystals, no dating methods have been carried out on these samples (Figure 4.26).

In the sedimentary rocks of the Timiskaming Group, the carbonatation appears to be the most important alteration phase with crystals of carbonates replacing most of the primary minerals. The ore assemblage is disseminated and mainly composed of arsenopyrite and pyrite. Four different kinds of pyrite have been observed and each one of them has peculiar textures and/or structures. Gold is invisible within the pyrite structure and visible with particles associated with pyrite and large clusters of arsenopyrite. The Astoria sector is characterized by specific minerals, such as epidote and amphibolised biotites, and the presence of gold at the interface between loellingite and arsenopyrite.

The microscopic observations realized on the intrusive rocks will be detailed in the following part. These observations concern the Archean albitite intrusive rocks, the Proterozoic dyke, as well as the skarns.

CHAPTER V INTRUSIVE ROCKS

Two kinds of intrusive rocks have been identified throughout the Augmitto-Astoria segment: mineralized Archean albitite dykes and sterile Proterozoic Abitibi dyke. Both the Archean and the Proterozoic dykes are of peculiar interest: the first ones contain mineralized zones and the second ones are thought to be responsible for the metamorphism halo, as well as the forming of skarns of the Astoria sector. Among the five thin sections taken from the intrusive rocks, three come from the albitite dykes of the Augmitto and Cinderella sectors and two from the skarns of the Astoria area (Table 5.1).

5.1. Lithology and structure of the Albitite dykes

The albitite dykes, present throughout the Augmitto-Astoria corridor, have rocks with brown-pinkish colors and a tint which varies from slight cream to orange. They contain albitized and silicified zones with clear contacts with the surrounding rocks. Intrusions are slightly deformed and brecciated and they contain millimeter-sized veinlets of quartz which locally have crystals of pyrite and arsenopyrite (Figure 5.1).

Thin sections have been taken from the Cinderella and Augmitto sectors. These albitite dykes display an array of light hues due to the matrix composed of both fine and centimeter-sized crystals of albite and carbonates that form brecciated textures. The matrix is crosscut by veinlets (< 50 microns) of milky quartz, that do not contain ore minerals, as well as veinlets of oxides, such as hematite and monazite that are associated with ore minerals. When these zones are cut by quartz-tourmaline stringers, they look like stockworks.

One sample has been described by the Company as an ultramafic rock, while both its mineral composition and geochemistry tend to suggest it is an intrusive rock: its matrix contains phenocrysts of albite with crystals of quartz and carbonates and the sample

contains high values of both geochemical elements P_2O_5 and TiO_2 , similar to those of the albitite dyke (Figures 5.2 and table 5.2).

The mineralization is scattered and mainly composed of crystals of arsenopyrite (< 80 microns) and pyrite (< 40 microns) associated with veinlets (< 200 microns) of sericite, ilmenite, hematite, carbonates, monazite and chlorite. The samples have undergone various alteration phases, which appear to be less substantial than those in the Timiskaming and in the Piché Groups. The succession of alteration of the albitite dykes can be divided into four stages: 1) silicification, 2) potassic to phyllic alteration, 3) carbonatation and 4) sulphidation (Figure 5.3):

- The silicification, in the Cinderella area, displays evidences of quartz recrystallization textures: the primary centimeter-sized crystals of quartz are crosscut by tiny secondary crystals located on the borders;
- The potassic to phyllic alteration is associated with veins and veinlets of sericite, quartz, carbonates, tourmaline, chlorite and sulphides. Only one thin section, taken from the Cinderella sector, contains veins (> 1 mm) of carbonates and sericite;
- Carbonate minerals are barely present: they form anhedral crystals with irregular borders located in the veins composed of quartz, sericite and arsenopyrite;
- The main sulphides are arsenopyrite and pyrite: they either form veinlets (< 80 microns) associated with carbonates, sericite, oxides (such as ilmenite and hematite) or they can be found within the matrix. These sulphides display brecciated textures with numerous fractures and irregular borders.

5.2. Ore mineralogy in the albitite dykes

This section details the various habitus of ore minerals that have been observed in the albitite dykes. The mineralization zones are scattered and composed of two main sulphides: arsenopyrite and pyrite, along with minor minerals such as chalcopryite, nickel-minerals, monazites, ilmenite and hematite.

5.2.1 Arsenopyrite

Two different habitus have been identified for this mineral: 1) tiny (< 50 microns) euhedral and 2) large anhedral crystals (Figures 5.4). Depending on the angle at which they have been cut, the tiny crystals are rod, diamond and triangular shaped. They form millimeter-sized veinlets inside bigger folded veins (1-2 cm) composed of oxides, sericite and carbonates. The large anhedral crystals of arsenopyrite have irregular borders, numerous cavities and inclusions of pyrrhotite, nickeline, gersdorffite, galena and monazite.

5.2.2 Pyrite

Most of the pyrites contain corroded and fractured crystals with irregular borders and numerous dissolution textures. Some of them have tiny zoned monazite inclusions, as well as chalcopyrite crystal filled cavities. The mineralized skarn contains nickeliforous pyrite associated with arsenopyrite.

5.2.3 Minor minerals

Crystals of monazite have been found filling the cavities of pyrite and arsenopyrite (Figures 5.5). No dating methods could be used, due to its small size, which does not exceed 10 microns. Locally, ilmenite and hematite crystals, around 5 microns wide, have been found associated with crystals of arsenopyrite, pyrite and gold.

5.3. Gold features in the albitite dykes

Visible particles of gold have been found in the following contexts: 1) in the cavities or on the rim of arsenopyrite crystals; 2) in the cavities of pyrite; 3) between arsenopyrite and pyrite or 4) as free gold in the matrix. These crystals vary from 4 to 100 microns in size and the gold/silver ratio oscillates between 1.03 and 4.41. Rare particles of electrum have been found in one sample located in the Cinderella sector (Figures 5.6).

CHAPTER VI ANALYSES ON PYRITES

Geochemical elements such as Co, Ni, Mo, Cr and Mn, allowed us to discriminate the pyrites with a pattern similar to those of sedimentary-diagenetic, hydrothermal or metamorphic origin. In this section, the different categories of pyrites will be detailed. The framböidal pyrite from the black shales of the Douay sector has only been used to compare the results with the other pyrites, especially the framböidal pyrite in the black shales of the Astoria sector.

6.1. Co versus Ni

A Co-Ni diagram has been realized using the LA-ICP-MS analyses. All of them display a low Co/Ni ratio and a tendency to be parallel to the linear array $\text{Co/Ni} = 1$ (Figure 6.1). This means that these pyrites have the same tendency than the pyrites of sedimentary origin (Deol *et al.*, 2012; Large *et al.*, 2014). However, the observation of both their textures and structures clearly showed at least two different pyrites: the sedimentary and the hydrothermal pyrites.

In contrast to sedimentary pyrites, hydrothermal pyrites are enriched in Cr and Mn. By plotting them in a Mn-Cr graphic (Figure 6.2), two groups of pyrites appear:

- The first group, containing around 100 ppm of both Mn and Cr elements, is composed of sedimentary pyrites with one exception: the hydrothermal pyrite located in the footwall sediments.
- The second group is composed of hydrothermal pyrites with high values of both Cr and Mn; these high values could be explained by the relatively high values of Cr and Mn within the ultramafic rocks which are thought to be the source of these two elements;

The sedimentary pyrite, Py-Douay, located in the black shales of the Douay area, has high values of Cr but rather low values of Mn, which makes it lies between the two groups described above. This pyrite comes from a different area, around 200km away from Rouyn-Noranda; it is then too difficult to explain the origin of these geochemical differences. Even if there are exceptions to this method, the geochemical elements Cr and Mn, seem to be good indicators to discriminate the sedimentary pyrites from the hydrothermal ones.

6.2. Molybdenum in pyrites

By plotting on a diagram the average content of molybdenum (Mo) of all the sedimentary pyrites (Figures 6.3), three groups have been created:

- The first group is composed of sedimentary pyrites in the black shales of the Astoria sector. Molybdenum content is inferior to 20 ppb. This group contains pyrites with the same pattern than those of metamorphic origin;
- In the second group lies the pyrite elongated in the shear direction in the black shales of the Astoria sector, with numerous dissolution textures. This pyrite has an average Mo content comprised between 60 and 200 ppb and displays the same pattern than the pyrites of diagenetic origin;
- The last group is composed of the sedimentary pyrite in the black shales of the Douay sector. It displays the same pattern than the pyrites of syngenetic origin with an average Mo content higher than 10 ppm (Large *et al.*, 2014).

6.3. Dendritic pyrites

Several crystals of pyrites, located in the footwall sediments of the Cinderella sector, have overgrowths of dendritic recrystallization textures. These pyrites are associated with large anhedral crystals of arsenopyrite. One of these pyrites displays two recrystallization stages: the core of this pyrite shows a well-defined crystal without inclusions or dissolution textures

while the rim has a brecciated texture with irregular borders and numerous dissolution textures. Dendritic recrystallization textures have been found on the rim of the crystal.

Cubic crystals are created in an environment stable enough to let the crystals grow slowly, therefore with a slow temperature decrease while a dendritic pyrite crystallizes with rapid cooling (Diehl *et al.*, 2012). This information supposes that the first episode of crystallization, represented by the cubic crystals, is associated with a slow cooling phase whereas the second crystallization stage, forming the dendritic recrystallization, is associated with a rapid cooling phase.

CHAPTER VII DISCUSSION

In this section, we will discuss: 1) the different habitus of gold that have been described in the thin sections; 2) the classification of the different pyrite crystals using microscopic observations and geochemistry (sedimentary, diagenetic, hydrothermal, metamorphic); 3) the role of the intrusive rocks on the mineralization zones, especially in the Astoria sector; 4) a deposition model that could explain the various gold stages that have been observed in this study and 5) the similarities and dissonances with other deposits and the comparison between the model of Bonnemaïson and Marcoux (1990) and the depositional model.

7.1. Gold along the Augmitto-Astoria corridor

Along the Augmitto-Astoria sector, gold has been found: i) in the ultramafic rocks of the Piché Group; ii) in the sediments of the Timiskaming group, including the black shales, and iii) in the albitite intrusive rocks. Whenever visible particles of gold were identified, SEM examinations were carried out. A catalog of gold particles has been created to compare the various locations, lithological units, sulphide associations and gold-silver ratios (Appendix C).

7.1.1 Invisible gold from Augmitto-Astoria

As seen in section 3.2, both invisible and visible gold have been observed in the ultramafic rocks of the Piché Group. LA-ICP-MS analyses realized on one hydrothermal pyrite with zonings revealed the presence of invisible gold within its structure. It has a gold content exceeding 18 ppm which makes this pyrite the richest sulphide analysed by LA-ICP-MS in this study.

As seen in section 4.2.1 in the footwall sediments, both invisible and visible gold have been found associated with pyrite and arsenopyrite crystals, with higher gold values in pyrite than

arsenopyrite. Invisible gold is present as inclusion and within the structure within three kinds of pyrites:

- 1) The framboïdal pyrites in the black shales of the Astoria sector;
- 2) The porous pyrites with replacement textures in the shear fracture within the footwall sediments of the Cinderella sector;
- 3) The zoned pyrites with a well-crystallized core and dissolution textures on the rim in the shear fracture of the footwall sediments of the Cinderella sector. The pyrites analysed by LA-ICP-MS are enriched in Cr, Mn, Co, Ni, Cu, As, Pb and Bi.

LA-ICP-MS mapping realized on arsenopyrite crystals revealed that invisible gold is present in every crystal analysed: it is either located within the structure or as inclusion within the sulphide. The richest gold values have been found within the arsenopyrite located in the footwall sediments of the Astoria sector, with an average gold content around 1.15 ppm. Several crystals of loellingite have been realized but the presence of visible particles of gold has not allowed us to determine whether or not invisible gold was present within this iron arsenide.

As seen in section 5.1.3 in the albitite dykes of the Cinderella sector, visible particles of gold are associated with crystals of arsenopyrite and pyrite. The mineralized skarn contains several particles of gold located at the interface between nickel loellingite and arsenopyrite. No LA-ICP-MS analyses have been realized on the sulphides with zonings; it is therefore impossible to know if invisible gold is present within their structure in the albitite dykes or in the skarns.

7.1.2 Visible gold along from Augmitto-Astoria

Visible particles of gold seem to be present everywhere along the Augmitto-Astoria segment. The Astoria sector is characterized by the presence of visible particles of gold at the interface between loellingite and arsenopyrite. In the Augmitto area, gold can be associated with pyrite and chalcopyrite. Gold aggregates have been observed within late

quartz veins in the ultramafic rocks of the Piché Group as well as in the sediments of the Timiskaming Group. It is thought that these aggregates correspond to a late gold remobilization event.

7.1.3 Interpretation on the different habitus of gold

Along the Augmitto-Astoria, Invisible gold is present as inclusion and within the pyrite and/or arsenopyrite structure. Invisible gold occurring in the core or on the rim of a sulphide is primary in origin while native gold filling its cracks and fractures is secondary (Velasquez *et al.*, 2014).

In this study, three gold mineralization episodes may be distinguished: 1) an episode with invisible gold in the pyrite and arsenopyrite crystals structure; 2) a second episode with visible particles of gold filling the sulphide fractures and 3) a last episode with particles of gold as aggregates within quartz-carbonates veins. The incorporation of gold within the sulphide structure followed by its extraction to form visible particles of gold trapped by sulphides such as arsenian pyrite and arsenopyrite may be the result of a prograde-retrograde metamorphism phase (Deol *et al.*, 2012).

7.2. Intrusive rocks

Along the Augmitto-Astoria corridor lie two kinds of intrusive rocks: the Archean albitite dyke swarms and the large sterile Proterozoic dyke belonging to the Abitibi dykes family. Even if the Archean dykes do not seem to be wide enough to be responsible for a metamorphism halo (a couple of meters wide), they contain disseminated ore minerals composed of large crystals of arsenopyrite and pyrite (> 1 cm) that are located within veinlets of sericite, ilmenite, hematite, carbonates and chlorite.

The Astoria sector, with its Proterozoic dyke, is characterized by: i) the presence of gold at the interface between loellingite and arsenopyrite; ii) the presence of sterile and mineralized skarns in the vicinity of the intrusive rock; iii) the gold particles size that does

not exceed 20 microns and iv) the average gold / silver ratio that reaches 10, which is higher than any other places along the Augmitto-Astoria corridor. These differences between the Astoria and the other three sectors could be explained by two hypotheses: either the Astoria sector has known a unique auriferous mineralization stage; different from the other three sectors (Augmitto, Cinderella and Lac Gamble) or 2) the warm associated with the Proterozoic dyke may have disturbed the mineralization. Because no data indicates that the Astoria sector has been submitted to a different mineralization stage, the second hypothesis will be discussed. The presence of the Proterozoic dyke, around 100 m wide, in the Astoria sector is responsible for a metamorphism halo that could have provoked: 1) the formation of loellingite from the arsenopyrite crystals; 2) the extraction of Au from the structure of sulphides such as arsenopyrite and/or loellingite; 3) the extraction of Ag from the Au-Ag solid solution and 4) the formation of skarns in the vicinity of these dykes.

7.3. Interpretation on the classification on the pyrites crystals

By using their textures, structures, as well as chemical elements such as Co, Ni, Mo, Mn and Cr, the various pyrites observed in the thin sections have been classified as having the same tendency than the pyrites of metamorphic, hydrothermal, diagenetic and syngenetic origin: 1) pyrites with a metamorphic signature come from the black shales of the Astoria sector; 2) pyrites with an hydrothermal signature come from both the footwall sediments and the ultramafic rocks of the Cinderella sector; 3) pyrites with a diagenetic signature come from the footwall sediments of the Cinderella sector and 4) pyrites with a chemical signature similar to those of syngenetic origin come from the black shales of the Douay sector (Table 7.1).

7.4. Deposition model

Based on macroscopic, microscopic and nanoscopic observations, new data have been brought concerning a multistage gold enrichment along the Cadillac fault zone (Figure 7.1).

LA-ICP-MS analyses realized on the framboïdal pyrite in the black shales of the Astoria sector revealed two Au-As concentric rings equivalent to two gold crystallization episodes: the first ring is located at the intermediate position between the core and the rim while the second one is located on the crystal rim. This suggests that no gold crystallized during the first steps of the pyrite forming process. The two Au-As rings correspond to the integration of both Au and As elements within the pyrite structure during the sedimentation-diagenesis processes of pyrites. This framboïdal pyrite displays dissolution textures and irregular borders, meaning that its formation is the result of rapid nucleation (Butler and Rickard, 2000).

Regarding the different habitus of pyrite and arsenopyrite crystals in the sediments of the Timiskaming Group, at least two sulphides forming episodes occurred: 1) an episode with an environment stable enough to let the crystals grow slowly, corresponding to the formation of both hydrothermal cubic-shaped pyrite and rod-shaped arsenopyrite crystals and 2) an episode with a rapid cooling phase that disturbs the crystallization process, corresponding to the formation of large crystals with dissolution textures, irregular borders and locally dendritic recrystallization. Invisible gold is associated with the second phase, within the sulphides structure that displays dissolutions textures and irregular borders. Gold has therefore been incorporated within the pyrite and arsenopyrite structure during the rapid cooling phase, equivalent to the fast crystallization process.

Invisible gold associated with a strong arsenic enrichment, around 6 500 ppm, is also present within the core of the hydrothermal pyrite in the ultramafic rocks of the Piché Group. The LA-ICP-MS mapping clearly revealed that gold has been incorporated in the pyrite structure during the first steps of the pyrite forming process. These hydrothermal pyrites, coming from both the ultramafic and sedimentary rocks, seem to have known a unique and nonetheless strong, Au-As enrichment, younger than the Timiskaming Group deposition.

The Astoria sector is characterized by the presence of a Proterozoic dyke responsible for a up to 50 meters wide metamorphism halo. The thermal effect associated with the dyke

intrusion could have permitted invisible gold to be incorporated within the arsenopyrite and/or loellingite structure. By cooling down, invisible gold may have been ejected from the sulphides structure to form visible particles that are trapped at the interface of loellingite and arsenopyrite (Deol *et al.*, 2012; Large *et al.*, 2014; Velasquez *et al.*, 2014). For Deol *et al.* (2012), the presence of gold located at the interface of loellingite and arsenopyrite indicates heat conditions where arsenopyrite is not able to retain gold in its structure at relatively high temperatures.

7.5. Comparisons

7.5.1 With previous models

According to this study, the Augmitto-Astoria sector has known a three-stage-auriferous-event with: 1) an early stage with invisible gold within the sulphide structure; 2) an intermediate stage with visible particles of gold associated with crystals of pyrite and arsenopyrite and 3) a last stage with gold nuggets within the quartz-carbonates veins of both the ultramafic and sedimentary rocks.

This model has already been proposed by Bonnemaïson and Marcoux, in 1990, in deposits located within Archean shields. In their model, the first stage considers that invisible gold is incorporated within the crystal lattice of pyrrhotite crystals that are formed during the hydrothermal alteration of the surrounding rocks. In the second stage, elements from the shear zone convert crystals of pyrrhotite to marcasite-pyrite with the release of gold and the forming the arsenopyrite crystals. This episode is characterized by strong gold-arsenic enrichment, increasing from the core to the rim of the crystals. The third stage implies the formation of gold-sterile lenses of milky white quartz, acting as host structures. During the fourth or intermediate stage, the auriferous mineralization is carried out by hydrothermal fluids which cause the destabilization of gold-bearing sulphides, such as arsenopyrite and/or pyrrhotite, and the formation of visible particles of gold. This stage is characterized by the presence of lamellar and filament-type structures of marcasite-pyrite as well as a Pb

anomaly. The last stage represents the formation of gold nuggets associated with mineralizing solutions rich in lead, copper and silver and the presence of antimony minerals such as pyrrargyrite (Ag_3SbS_3), freibergite ($[\text{Ag}, \text{Cu}]_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$), owyheeite ($\text{Pb}_5\text{Ag}_2\text{Sb}_6\text{S}_{15}$) or bournonite (CuPbSbS_3). The gold nuggets contain silver contents higher than the intermediate stage.

This model supposed that invisible gold is present within the pyrrhotite structure and that hydrothermal fluids are responsible for the extraction of invisible gold from the arsenopyrite and/or pyrrhotite structure to form visible particles of gold. Even though this model could be applied along the CLLFZ, the lack of LA-ICP-MS mapping on crystals of pyrrhotite and arsenopyrite made their three-stage evolutions of auriferous shear zones a little too theoretical.

7.5.2 With other deposits

The Augmitto-Astoria sectors could be compared with several gold deposits, including the Lapa mine, located along the CLLFZ in Abitibi, Canada, and the Sukhoi Log deposit, Lena Gold Province, in Russia (Table 7.2).

7.5.2.1 Lapa mine, Canada

The Lapa mine is located directly in contact with the CLLFZ (Figure 7.2). It has features similar to the Augmitto-Astoria segment: 1) the metamorphism lies between the superior greenschists and the lower amphibolite facies; 2) at least three mineralizing episodes occurred while two of them are gold-bearing and 3) gold is associated with arsenopyrite, pyrrhotite and pyrite crystals within mafic and ultramafic rocks of the Piché Group as well as in greywackes of the Timiskaming Group.

However, major differences exist between the Lapa mine and the Augmitto-Astoria segment: 1) regional metamorphism along the Augmitto-Astoria is greenschists while it ranges from superior greenschists to amphibolite only in the vicinity of the Proterozoic dyke;

2) no mafic rocks have been observed along Augmitto-Astoria; 3) no vertical distinction has been made to distinguish the deposit in two, using the sulphide association; 4) the Piché Group contains numerous gold particles but the footwall sediments of the Timiskaming Group seem to be richer than the ultramafic rocks; 5) even if crystals of arsenopyrite seem to be the main sulphides along Augmitto-Astoria, crystals of pyrite bear the highest gold values; 6) while Sb-minerals have been observed associated with pyrite, there does not seem to be strong correlations between gold and antimony minerals and 7) the gold content of the richest pyrite does not exceed 18 ppm while the Lapa mine is characterized by crystals of arsenopyrite with gold values ranging from 602 to 1 825 ppm.

7.5.2.2 Sukhoi Log deposit, Russia

The Neoproterozoic Sukoi Log deposit, located in the Lena gold province of the Siberian craton, 850 km northeast of Irkutsk (Figure 7.3), shares several similarities with the black shales of the Timiskaming Group in the Astoria sector: 1) both of them contain sedimentary-diagenetic pyrites, in the black shales; 2) the same kind of sulphides is present, with pyrite, chalcopyrite, arsenopyrite, pyrrhotite and galena and 3) gold is invisible in the pyrite structure and visible as native gold in the matrix as well as associated with pyrites (Large *et al.*, 2007). However, it does not seem that gold is associated with telluride minerals along the Augmitto-Astoria sector.

CONCLUSION

To better understand the origin of gold along the Cadillac break, the objectives of this study were triple: 1) to define the mineralogy and the various habitus of gold along the Augmitto-Astoria segment; 2) to understand the role of the Proterozoic dyke on mineralized zones and 3) to determine the chronological order of the different auriferous mineralizing events that have been observed along the CLLFZ.

The ore assemblage, in the Augmitto, Cinderella and Lac Gamble sectors, is dominated by disseminated arsenopyrite and pyrite. In the Astoria area, it is mainly composed of arsenopyrite, pyrite and loellingite. The LA-ICP-MS analyses realized on the pyrites revealed an enrichment in Cr, Mn, Co, Ni, Cu, As, Pb and Bi. In the vicinity of the Proterozoic dyke, the pyrites are enriched in S, Cu, and Sb while the pyrites away from the dyke shows an enrichment in Cr, Mn, Mo et Tl.

Gold is present under three stages: nanoscopic, microscopic and macroscopic. In the black shales of the Astoria sector, invisible gold has been observed as inclusion and within the framboïdal pyrite structure. Gold was therefore present at an early stage, before the CLLFZ formation, in the black shales of the Astoria sector and it has been incorporated in the pyrite structure during the sedimentary-diagenesis processes.

Gold is also present in the ultramafic rocks of the Piché Group as well as in the footwall sediments of the Timiskaming Group. Gold is invisible in both the hydrothermal pyrites and arsenopyrites with higher gold values in the pyrites structure. Visible particles of gold have been observed: 1) within large clusters of arsenopyrite crystals; 2) in the matrix; 3) at the interface between pyrite and chalcopyrite crystals and 4) at the interface of loellingite and arsenopyrite. By a prograde-retrograde metamorphism combination, visible gold may have been integrated within the sulphides structure then extracted to form visible particles of gold trapped by arsenian minerals such as arsenopyrite and loellingite (Deol *et al.*, 2012). The presence of invisible gold in the same kind of hydrothermal pyrites in both the

ultramafic and sedimentary rocks supposes an auriferous syn-tectonic event, younger than the Timiskaming Group deposition, associated with the incorporation of gold within the pyrite and arsenopyrite structure.

The thermal effect of the Proterozoic dyke could have permitted invisible gold to be incorporated within the arsenopyrite and/or loellingite structure. Visible particles gold that are trapped at the interface of loellingite and arsenopyrite may be the result of the ejection of invisible gold from the sulphide structure during cooling down process (Deol *et al.*, 2012; Large *et al.*, 2014; Velasquez *et al.*, 2014). Gold seems therefore to have been remobilized by a Neoproterozoic event, contemporaneous with the Proterozoic dyke intrusion.

Aggregates of gold have been observed in both ultramafic and sedimentary rocks, within quartz-carbonate veins. Gold has therefore been observed under three stages: 1) invisible gold in the sulphides structure; 2) visible gold trapped by arsenopyrite, pyrite and loellingite and 3) aggregates of gold located within veins. This three-stage model with invisible gold expelled for the sulphides structure to form visible particles that are then remobilized to form aggregates shows strong similarities with the three-stage evolution of auriferous shear zones from Bonnemaison and Marcoux (1990). For them, invisible gold appears to be present within the pyrrhotite structure and is remobilized by hydrothermal fluids.

This study has provided a better understanding of the Augmitto-Astoria corridor that could be extended to a more regional scale. Three episodes of gold mineralization have been observed: 1) an early gold mineralization stage, older than 2.67 Ga., associated with the auriferous framboidal pyrites in the black shales; 2) a syn-tectonic auriferous event, younger than 2.65 Ga., characterized by the auriferous hydrothermal pyrites in both ultramafic rocks of the Piché Group and footwall sediments of the Timiskaming Group and 3) a late gold remobilizing event, contemporaneous with the Proterozoic dyke intrusion, related to the presence of gold trapped at the interface of arsenopyrite and loellingite. The gold concentration in the Cadillac break south of Rouyn-Noranda results therefore from the combination of three events constrained between a late Archean to a Neoproterozoic geological scale.

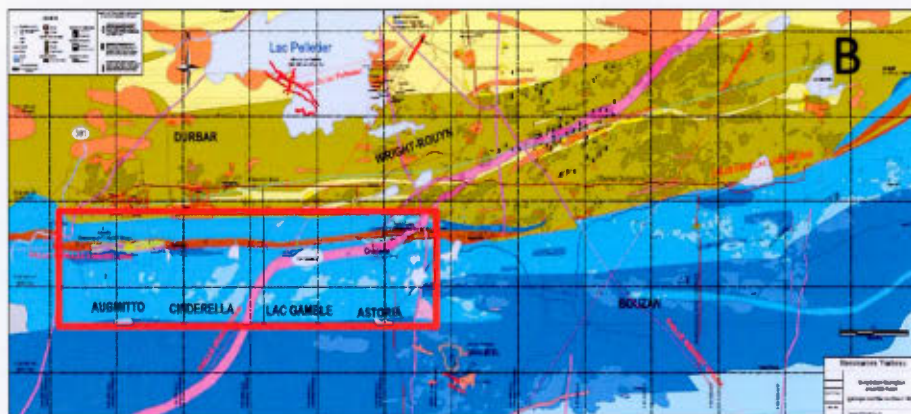
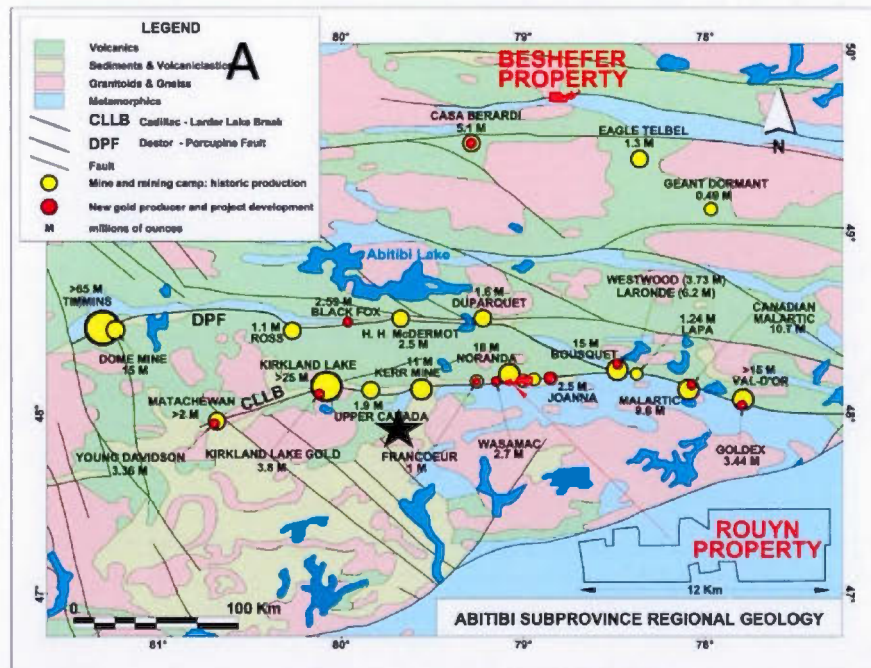
References

- Bedeaux, P., Pilote, P., Daigneault, R., & Rafini, S. 2014. «Synthesis of the structural evolution and associated gold mineralization of the Cadillac fault, Abitibi, Canada». 2014 GSA Annual Meeting in Vancouver, British Columbia.
- Bonnemaison, M., & Marcoux, E. 1990. «Auriferous mineralization in some shear-zones: A three-stage model of metallogenesis». *Mineralium Deposita*, 25(2), 96-104.
- Buchan, K. L., Mortensen, J. K., & Card, K. D. 1993. «Northeast-trending Early Proterozoic dykes of southern Superior Province: multiple episodes of emplacement recognized from integrated paleomagnetism and U-Pb geochronology». *Canadian Journal of Earth Sciences*, 30(6), 1286-1296.
- Butler, I. B., & Rickard, D. 2000. «Framboidal pyrite formation via the oxidation of iron (II) monosulfide by hydrogen sulphide». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64(15), 2665-2672.
- Colvine, A.C. 1989. «An empirical model for the formation of Archean gold deposits—products of final cratonization of the Superior province, Canada». *Economic Geology Monograph* 6, p. 37–53.
- Couture, J.-F. 1996. «Gisements métalliques du district de Rouyn-Noranda. In: Métalogénie et évolution de la région de Rouyn-Noranda», (edited by Couture, J.-F. and Goutier, J.) MB 96-06. Ministère des Ressources naturelles du Québec, 11-18.
- Deol, S., Deb, M., Large, R. R., & Gilbert, S. 2012. «LA-ICPMS and EPMA studies of pyrite, arsenopyrite and loellingite from the Bhukia-Jagpura gold prospect, southern Rajasthan, India: Implications for ore genesis and gold remobilization». *Chemical Geology*, 326, 72-87.
- Diehl, S. F., Goldhaber, M. B., Koenig, A. E., Lowers, H. A., & Ruppert, L. F. 2012. «Distribution of arsenic, selenium, and other trace elements in high pyrite Appalachian coals: evidence for multiple episodes of pyrite formation». *International Journal of Coal Geology*, 94, 238-249.
- Dimroth, E., Imreh, L., Goulet, N., & Rocheleau, M. 1983. «Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Quebec. Part III: Plutonic and metamorphic evolution and geotectonic model». *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20(9), 1374-1388.
- Dubé, B., & Gosselin, P. 2007. «Greenstone-hosted quartz-carbonate vein deposits». *Mineral Deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods*.

- Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, 5, p. 49-73.
- Eisenlohr, B. N., Groves, D., & Partington, G. A. 1989. «Crustal-scale shear zones and their significance to Archaean gold mineralization in Western Australia». *Mineralium Deposita*, 24(1), 1-8.
- Gauthier, N., Rocheleau, M. & Dubé, B. 1985. «Rapport technique - Pétrographie, minéragraphie et lithogéochimie des zones aurifères A et B, propriété Astoria». Yorbeau Resources Inc. : 47 p.
- Gauthier, N., Rocheleau, M., Kelly, D. and Gagnon, Y. 1990. «Controls on the distribution of gold mineralization within the Cadillac tectonic zone, Rouyn-Beauchastel segment, Abitibi belt, Quebec». The Northwestern Quebec Polymetallic Belt: A Summary of, 60, pp.185-198.
- Goldfarb, R. J., Groves, D. I., & Gardoll, S. 2001. «Orogenic gold and geologic time: a global synthesis». *Ore geology reviews*, 18(1), p. 1-75.
- Goldfarb, R. J., Baker, T., Dube, B., Groves, D. I., Hart, C. J., & Gosselin, P. 2005. «Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes». *Economic Geology* 100th anniversary, vol. 40., p. 407-450.
- Groves, D. I. 1993. «The crustal continuum model for late-Archaean lode-gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia». *Mineralium deposita*, 28(6), 366-374.
- Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S. G., & Robert, F. 1998. «Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types». *Ore geology reviews*, 13(1), p. 7-27.
- Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Robert, F., & Hart, C. J. 2003. «Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance». *Economic Geology*, 98(1), 1-29.
- Helt, K. M., Williams-Jones, A. E., Clark, J. R., Wing, B. A., & Wares, R. P. 2014. «Constraints on the genesis of the Archean oxidized, intrusion-related Canadian Malartic gold deposit, Quebec, Canada». *Economic Geology*, 109(3), 713-735.
- Jébrak, M., & Marcoux, É. 2008. «Géologie des ressources minérales». Ministère des ressources naturelles et de la faune, 668 p.
- Kerrick, R., Goldfarb, R., Groves, D. I., & Garwin, S. 2000. «The geodynamics of world-class gold deposits: characteristics, space-time distribution, and origins». In *Gold in Vol. 13*, pp. 501-551.

- Kerrich, R., Goldfarb, R., Groves, D., Garwin, S., & Jia, Y. 2000. «The characteristics, origins, and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces». *Science in China Series D: Earth Sciences*, 43(1), p. 1-68.
- Lajoie, J., & Ludden, J. 1984. «Petrology of the Archean Pontiac and Kewagama sediments and implications for the stratigraphy of the southern Abitibi belt». *Canadian Journal of Earth Sciences*, 21(11), 1305-1314.
- Large, R. R., Maslennikov, V. V., Robert, F., Danyushevsky, L. V., & Chang, Z. 2007. «Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log deposit, Lena gold province, Russia». *Economic Geology*, 102(7), p. 1233-1267.
- Large, R. R., Bull, S. W., & Maslennikov, V. V. 2011. «A carbonaceous sedimentary source-rock model for Carlin-type and orogenic gold deposits». *Economic Geology*, 106(3), 331-358.
- Large, R. R., Halpin, J. A., Danyushevsky, L. V., Maslennikov, V. V., Bull, S. W., Long, J. A., Gregory, D. D., Lounejeva, E., Lyons, T. W., Sack, P. J., McGoldrick, P. J. & Calver, C. R. 2014. «Trace element content of sedimentary pyrite as a new proxy for deep-time ocean-atmosphere evolution». *Earth and Planetary Science Letters*, 389, p. 209-220.
- Pilote, P., Daigneault, R., David, J. & McNicoll V. 2014. «Architecture of the Malartic, Piché and Cadillac groups and of the Cadillac Fault, Abitibi Subprovince: geological revision, new dates and interpretations». *Présentation orale au Congrès Québec Mines*, novembre 2014.
- Piper, J. D. A., Beckmann, G. E. J., & Badham, J. P. N. 1976. «Palaeomagnetic evidence for a Proterozoic super-continent [and discussion]. *Philosophical Transactions for the Royal Society of London*». Series A, Mathematical and Physical Sciences, 469-490.
- Puritch, E. 2005. «Technical Report – Open Pit and underground mineral resource estimate for the Astoria 1 Gold Projet, near Rouyn, Quebec». *Yorbeau Resources Inc.*: 52 p.
- Rabeau, O., Legault, M., Cheillett, A., Jébrak, M., Royer, J. J., & Cheng, L. Z. 2010. «Gold potential of a hidden Archean fault zone: the case of the Cadillac–Larder Lake Fault». *Exploration and Mining Geology*, 19(3-4), p. 99-116.
- Rafini, S.. 2014. «Fiches descriptives de gîtes - Faille de Cadillac. *Projet CONSOREM 2011-01 et 2012-0*, 197 p.
- Robert, F., & Brown, A. C. 1986. «Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi greenstone belt, Quebec; Part I, Geologic relations and formation of the vein system». *Economic Geology*, 81(3), 578-592.

- Robert, F. 1989. «Internal structure of the Cadillac tectonic zone southeast of Val d'Or, Abitibi greenstone belt, Quebec». *Canadian Journal of Earth Sciences*, 26(12), 2661-2675.
- Robert, F., A.-M. Boullier & K. Firdaous. 1995. «Gold-quartz veins in metamorphic terranes and their bearing on the role of fluids in faulting». *Journal of Geophysical Research*, 100(B7), 12861–12879, doi:10.1029/95JB00190.
- Robert, F., & Poulsen, K. H. 1997. «World-class Archaean gold deposits in Canada: An overview». *Australian Journal of Earth Sciences*, 44(3), 329-351.
- Salmon, B. & McDonough, B. 2011. «Technical Report on the Rouyn Property, Augmitto block, Rouyn-Noranda, Québec, Canada». Yorbeau Resources Inc.: 176 p.
- Sibson, R. H., Robert, F., & Poulsen, K. H. 1988. «High-angle reverse faults, fluid-pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits». *Geology*, 16(6), 551-555.
- Simard, M., Gaboury, D., Daigneault, R., & Mercier-Langevin, P. 2013. «Multistage gold mineralization at the Lapa mine, Abitibi Subprovince: insights into auriferous hydrothermal and metasomatic processes in the Cadillac–Larder Lake Fault Zone». *Mineralium Deposita*, 48(7), p. 883-905.
- Velásquez, G., Béziat, D., Salvi, S., Siebenaller, L., Borisova, A. Y., Pokrovski, G. S., & De Parseval, P. 2014. «Formation and deformation of pyrite and implications for gold mineralization in the El Callao District, Venezuela». *Economic Geology*, 109(2), 457-486.
- Wyman, D., & Kerrich, R. 2009. «Plume and arc magmatism in the Abitibi subprovince: implications for the origin of Archean continental lithospheric mantle». *Precambrian Research*, 168(1), 4-22.



Figures 1.1 : (a) Location of the Yorbeau Resources projects (black star) and (b) geological map of the Yorbeau Resources property illustrating the two dominant geological units: to the north, the mafic volcanic rocks of the Blake River Group (green), and to the south, the sandstone-to-siltstone sediment, schists and gneiss of the Pontiac Group (dark blue). These two units are overlain by the sandstones, siltstones and lenses of conglomerates of the Timiskaming Group (light blue), which are intruded by late diabase dykes (pink). The red square indicates the four sectors of the present study: Augmitto, Cinderella, Lac Gamble and Astoria. These files have been provided by the company.

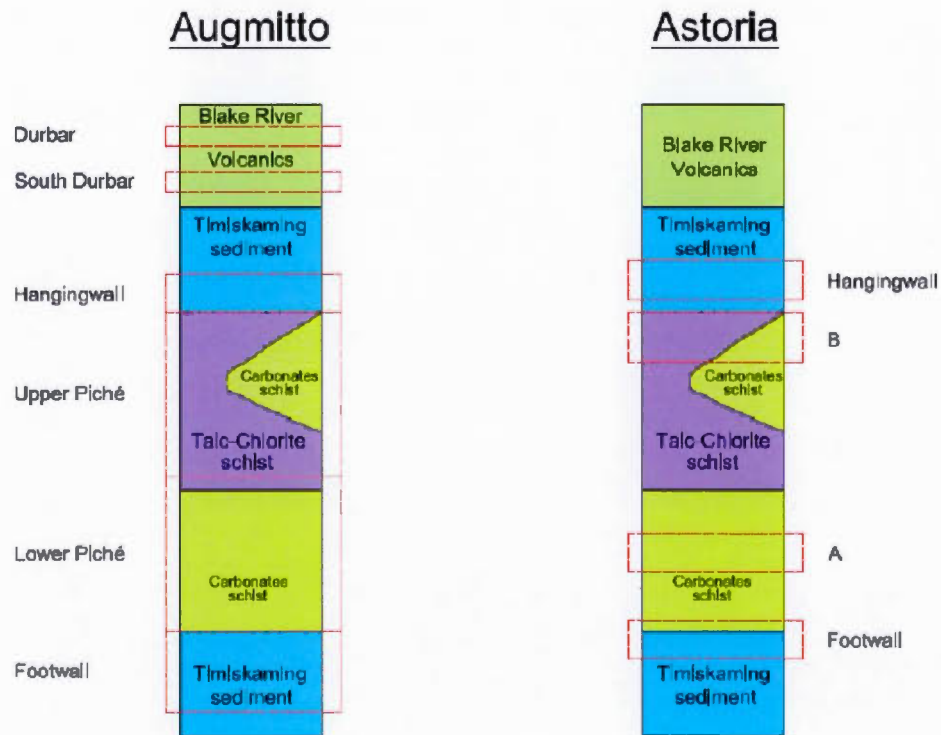


Figure 3.1: Scheme illustrating the three geological sub-zones of the Piché Group in the Augmitto and Astoria sectors: the Upper Carbonate Zone (or Lower Piché), the Talc-Chlorite Schist Zone (or Talc-Chlorite schist) and the Lower Carbonate Zone (or Lower Piché). Document provided by the company *Les Ressources Yorbeau*.

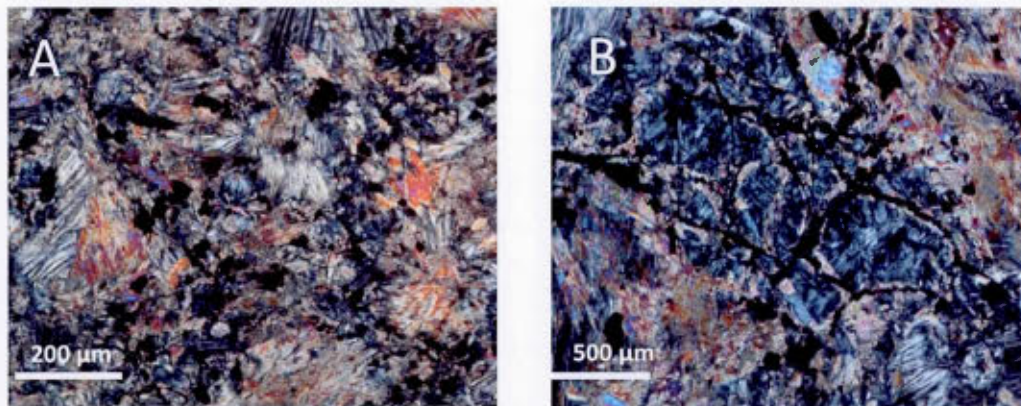


Figure 3.2: Microphotographs illustrating a komatiite from the Piché Group of the Cinderella sector with (a) spinifex texture composed of (b) crystals of olivine that are crosscut by veinlets of epidote and chromite.



Figure 3.3 : Photograph illustrating the ultramafic rocks of the Augmitto sector with aphanitic textures, greyish tints and numerous veinlets of carbonates, chlorite and fuchsite parallel to the foliation, as well as sterile veinlets of milky quartz.

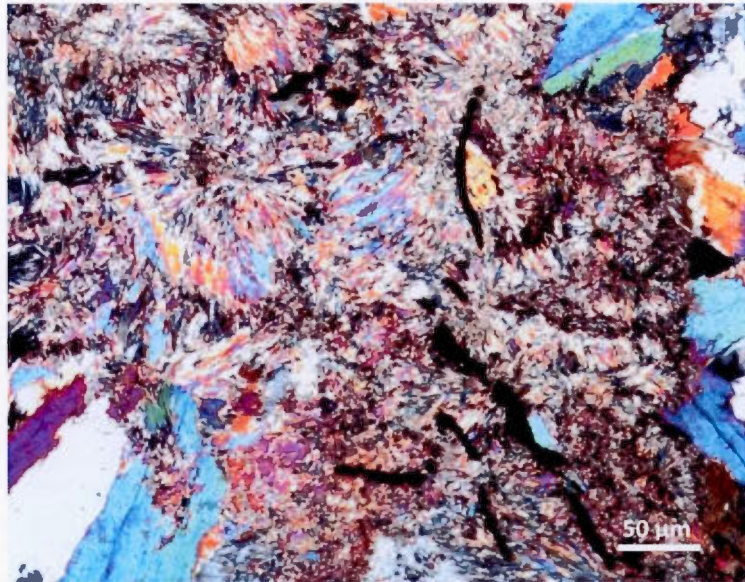


Figure 3.4: Microphotograph illustrating the amphibolised crystals of biotite in the ultramafic rocks of the Astoria sector: the iron-oxide crystals are located on the border of the biotite crystals. The metamorphic stage lies at the limit between the superior greenschists and the amphibolite facies.

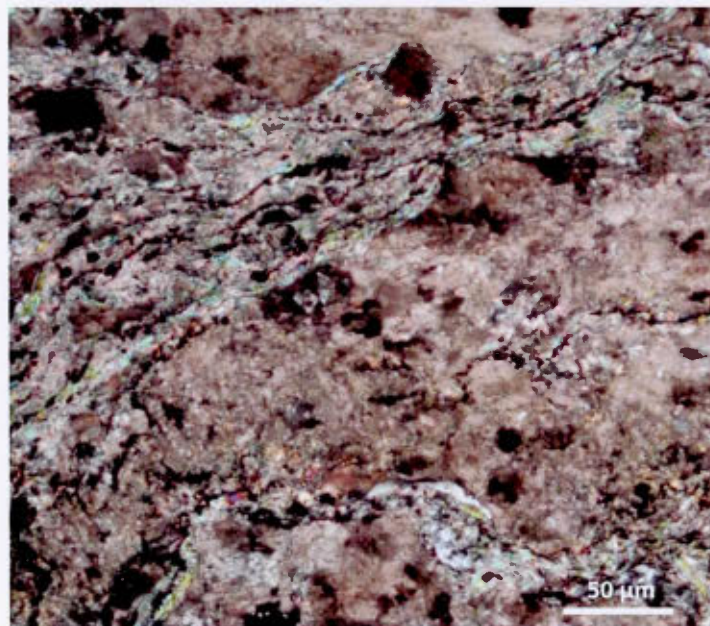


Figure 3.5: Microphotograph illustrating the various folded veinlets of quartz, tourmaline, carbonates, chlorite, fuchsite and oxides, such as ilmenite and hematite in the ultramafic rocks of the Cinderella sector.



Figure 3.6: Photograph illustrating a sample of the ultramafic rocks in the Cinderella sector with folded veins of milky quartz (black arrows) and two particles of gold (red circles).

	Silicification		
	Sericitisation and tourmalinisation	Carbonatation	Chloritisation and sulphidation
Deformation phase			Brecciation of sulphides
Quartz			
Plagioclase			
Muscovite			
Tourmaline			
Amphibolised biotite			
Epidote			
Sericite			
Fuchsite			
Carbonates			
Rutile			
Chlorite			
Chalcopyrite			
Pyrrhotite			
Cobaltite			
Mackinawite			
Pyrite			
Chromite			
Galena			
Nickel minerals			
Hematite			
Ilmenite			
Hematite			
Arsenopyrite			
Loellingite			
Gold			
			Invisible gold Visible gold Nuggetisation

Figure 3.7: Paragenesis of the ultramafic rocks of the Piché Group along the Augmitto-Astoria sector.

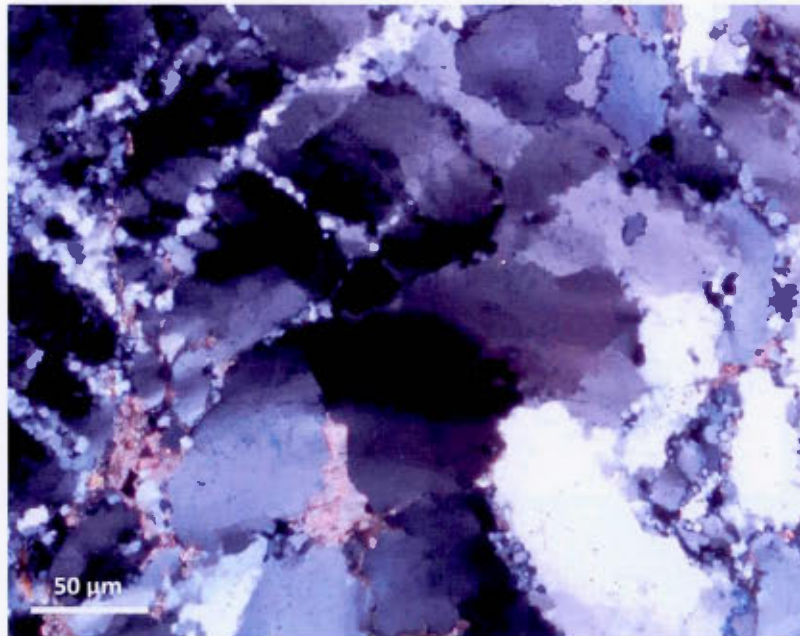


Figure 3.8 : Microphotograph displaying a recrystallization texture in the ultramafic rocks of the Piché Group: the irregular-bordered primary crystals of quartz are crosscut by numerous tiny crystals of quartz fixed along their borders.

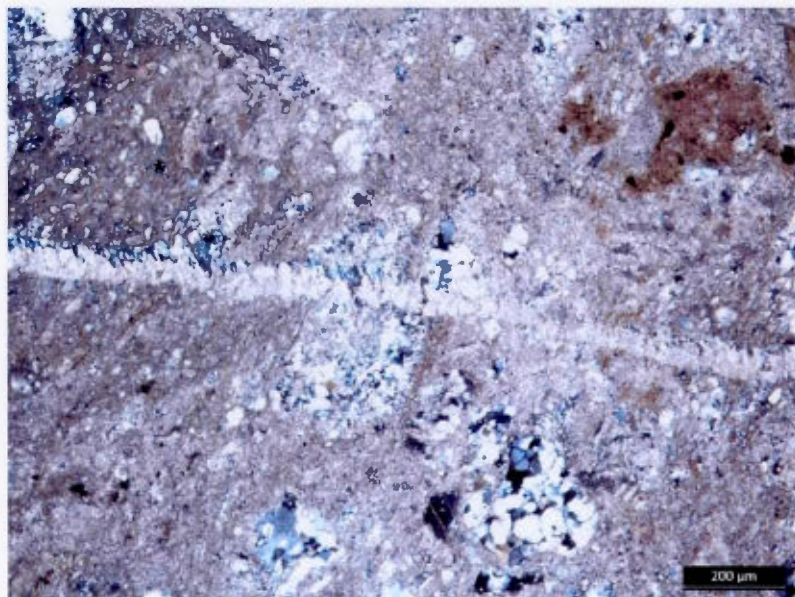


Figure 3.9: Microphotograph of the ultramafic rocks of the Augmitto sector illustrating the intense carbonatation and the microcrystalline quartz nodules that are crosscut by veinlets of carbonates.

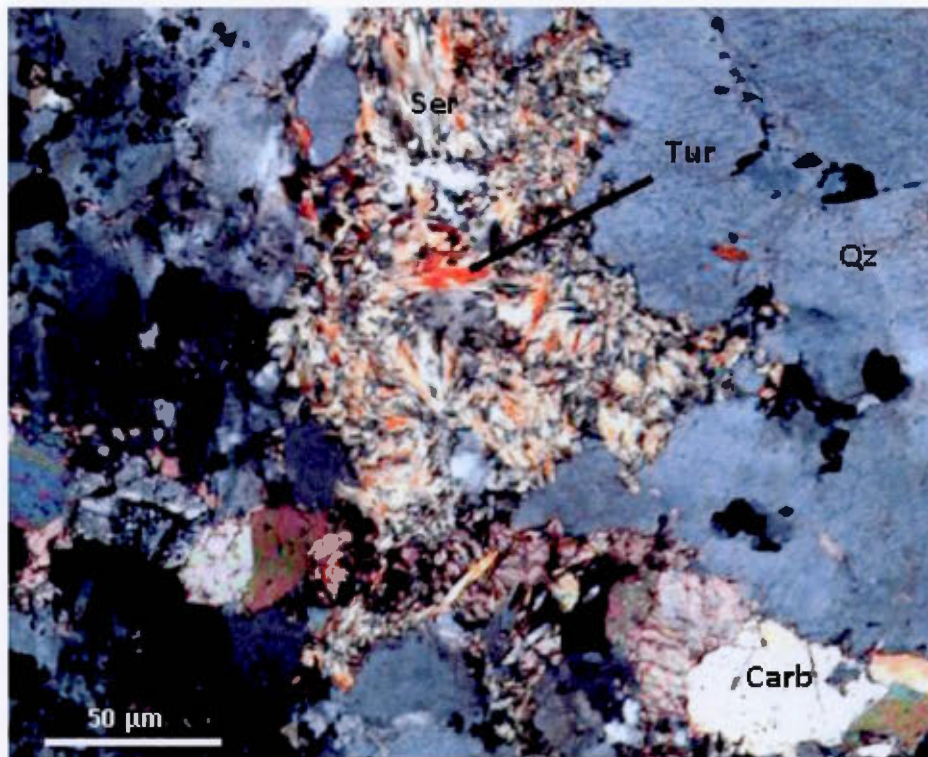


Figure 3.10 : Microphotograph displaying the anhedra crystals of sericite (Ser) and tourmaline (Tur) in contact with euhedral crystals of carbonate (Carb) within a vein of quartz (Qz) in the ultramafic rocks of the Astoria sector.

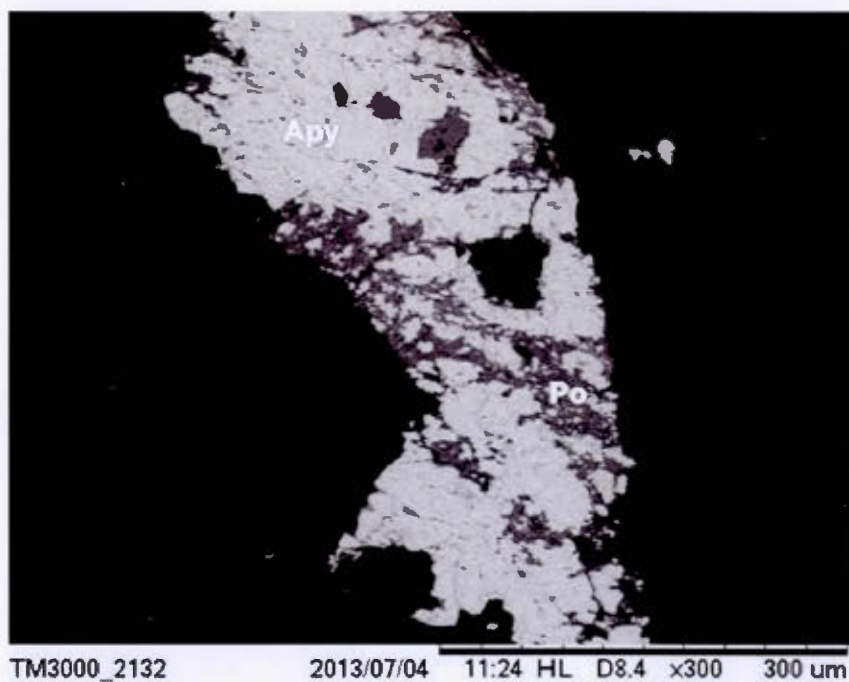


Figure 3.11 : Microphotograph illustrating a crystal of arsenopyrite, in the ultramafic rocks of the Astoria sector, with a brecciated texture: it contains numerous fractures filled by crystals of pyrrhotite.

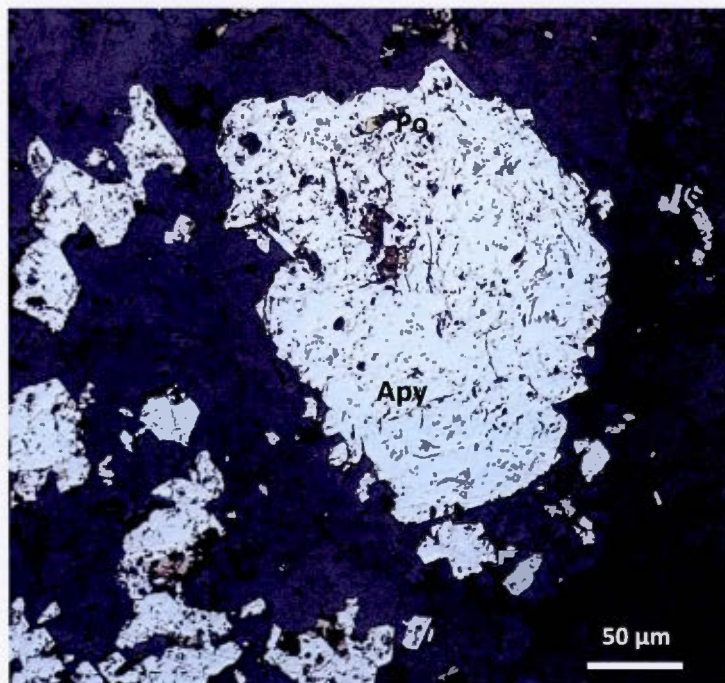


Figure 3.12 : Photograph illustrating the crystals of arsenopyrite (Apy) with fractures, irregular borders and inclusions of pyrrhotite (Po) in the ultramafic rocks of the Astoria area.

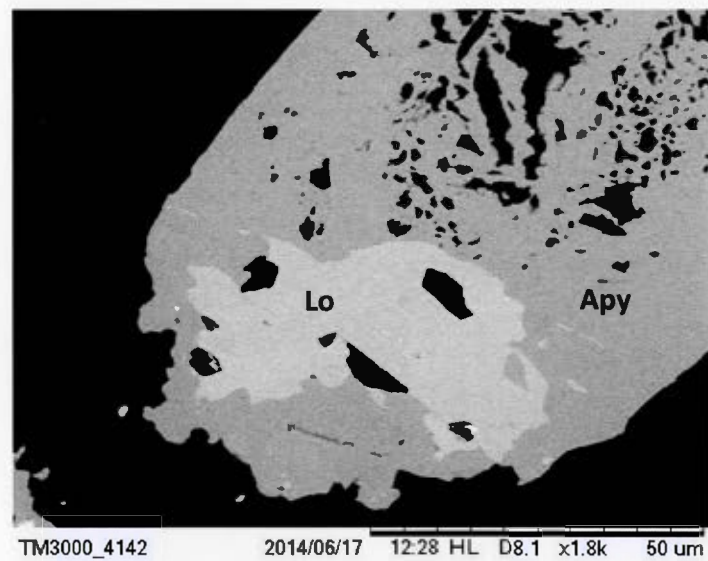


Figure 3.13 : Microphotograph illustrating the crystals of arsenopyrite (Apy) associated with loellingite (Lo) in the ultramafic rocks of the Astoria sector.

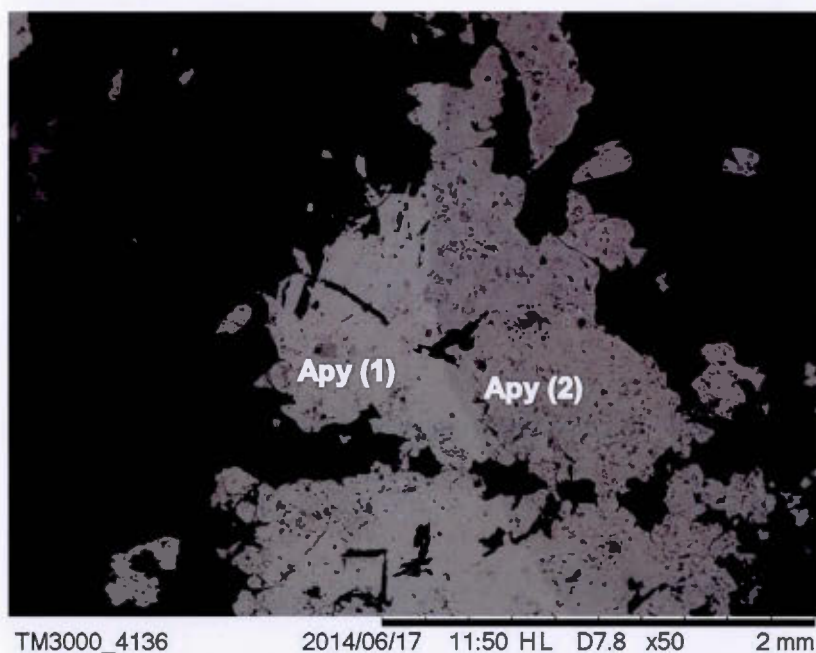


Figure 3.14 : Microphotograph illustrating two kinds of arsenopyrite in the ultramafic rocks of the Astoria sector: Apy (1) and Apy (2). SEM analyses concluded that Apy (1) contains higher values of As, Fe and S than Apy (2).

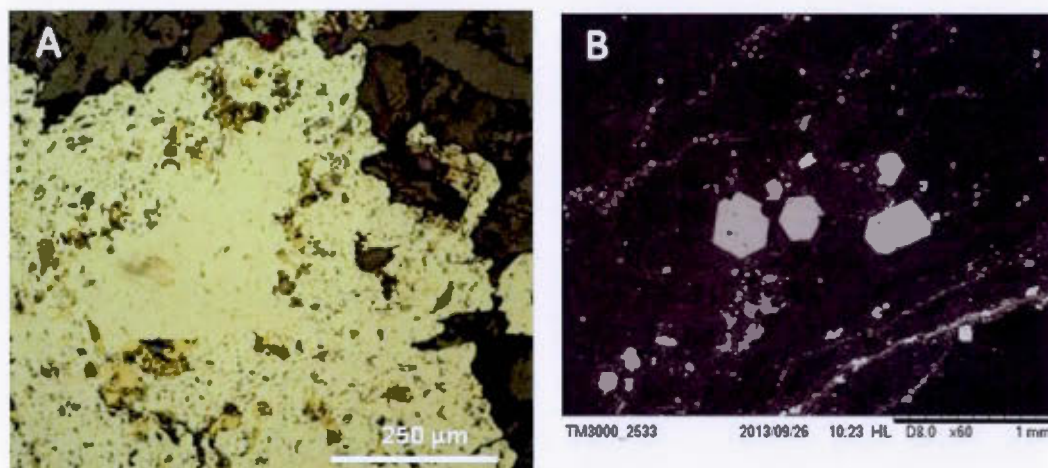


Figure 3.15 : Microphotographs of pyrrhotite crystals in the ultramafic rocks of the Augmitto and Cinderella sectors: (a) anhedral crystals associated with large zoned crystals of arsenopyrite (Apy) in the Astoria sector and (b) euhedral crystals in the matrix with veinlets of gersdorffite (Gd) in the Cinderella sector.

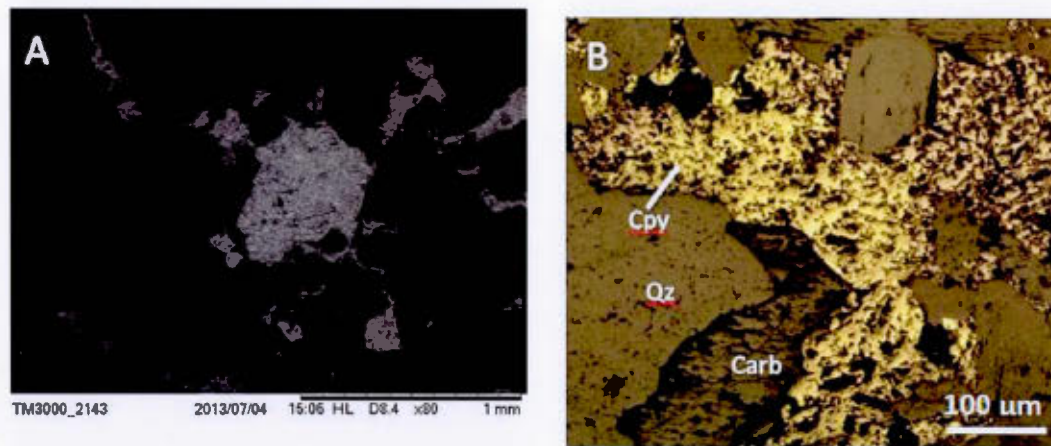
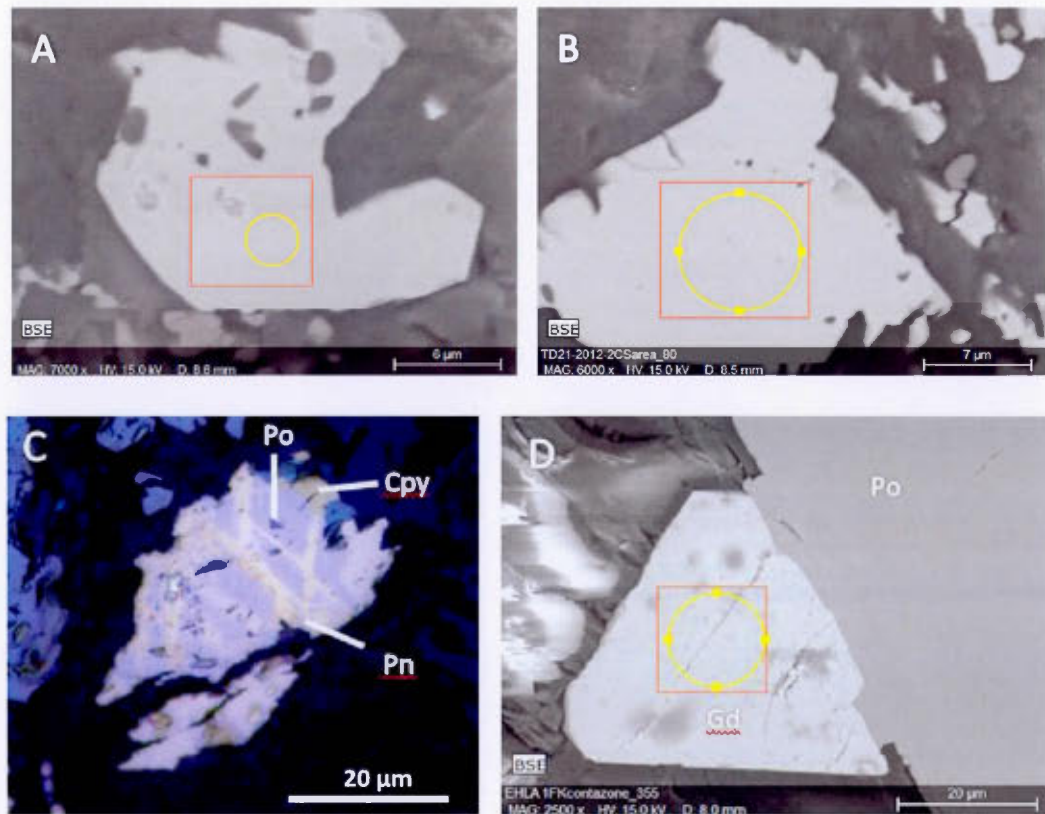
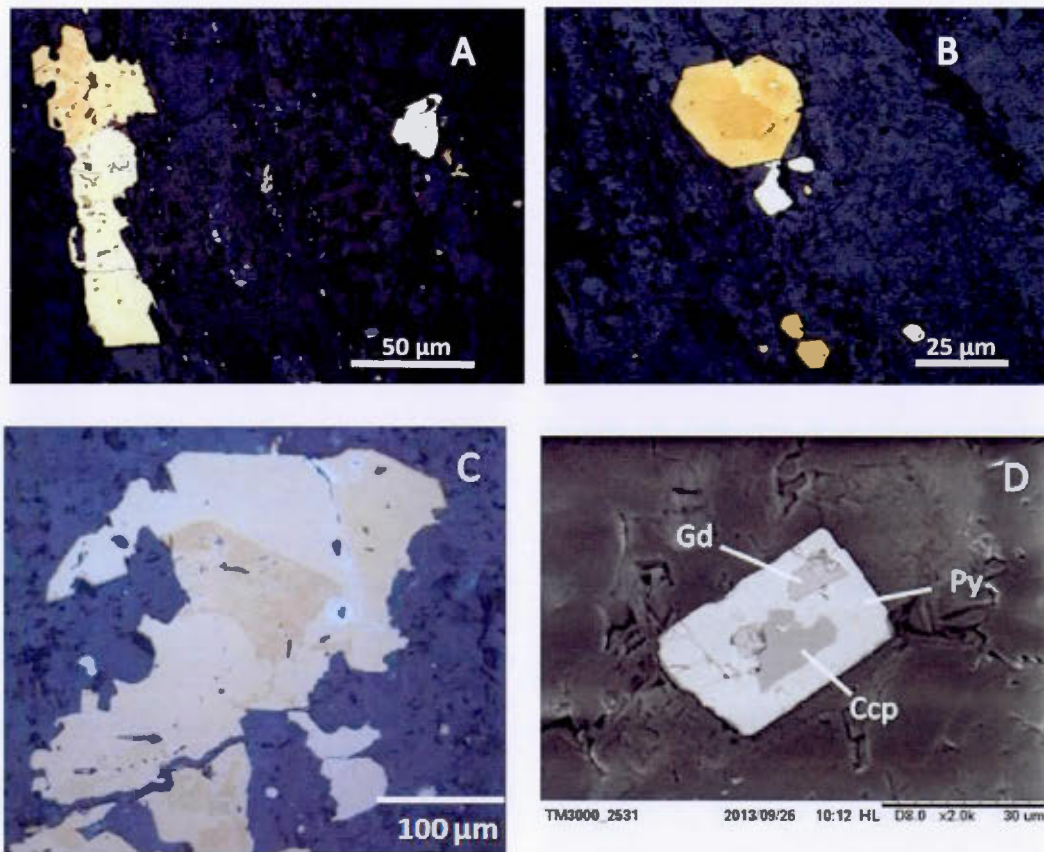


Figure 3.16 : Microphotograph illustrating the sub-euhedral crystals of chalcopyrite (Cpy) associated with pyrrhotite (Po), in the ultramafic rocks of the Astoria sector: (a) in the matrix and (b) within veins of carbonates (Carb) and quartz (Qz).



Figures 3.17: Microphotographs illustrating the nickel minerals present in the ultramafic rocks of the Lac Gamble and Cinderella sectors: (a) euhedral crystal of nickeline in the Astoria sector, (b) euhedral crystal of skutterudite in the Astoria sector, (c) lamellae of pentlandite (Pn) associated with chalcopyrite (Cpy) in pyrrhotite (Po) in the Augmitto area and (d) euhedral crystal of gersdorffite (Gd) associated with pyrrhotite (Po).



Figures 3.18: Microphotographs illustrating several habitus of pyrite in the ultramafic rocks: (a) sub-euhedral crystals with zonings, elongated in the shear direction, (b) euhedral crystals with zonings, (c) anhedral crystal with dissolution textures, fractures zonings and brecciated textures and (d) inclusions of pyrite (Py) and Chalcopyrite (Ccp) within gersdorffite (Gd).

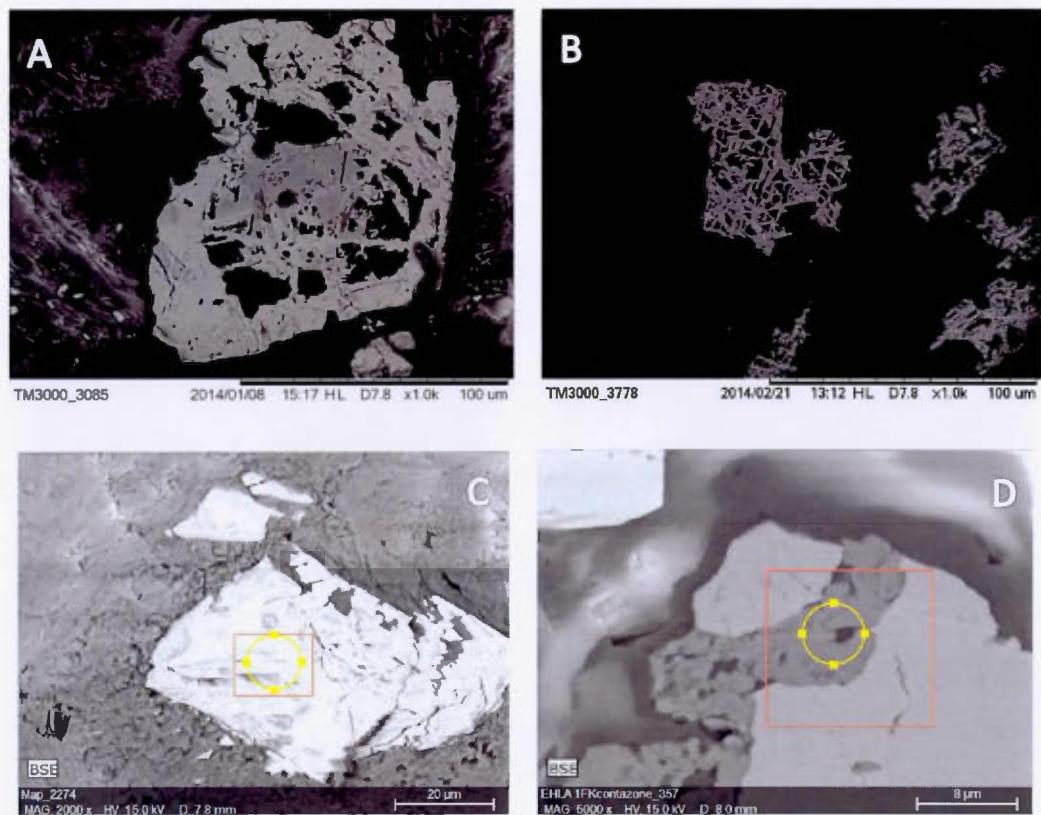


Figure 3.19: Microphotographs illustrating the crystals of oxide present in the ultramafic rocks of the Cinderella sector: (a) large corroded euhedral crystal of hematite, (b) large crystals of rutile with skeletal textures, (c) veinlet of euhedral crystals of chromite and (d) veinlet of an anhedral crystal of rutile (Rt) which crosscut the crystal of pyrite (Py).

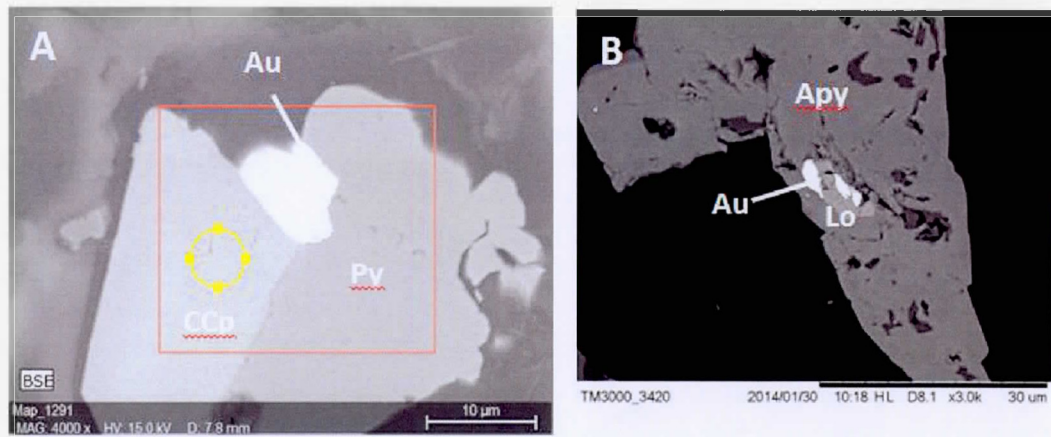
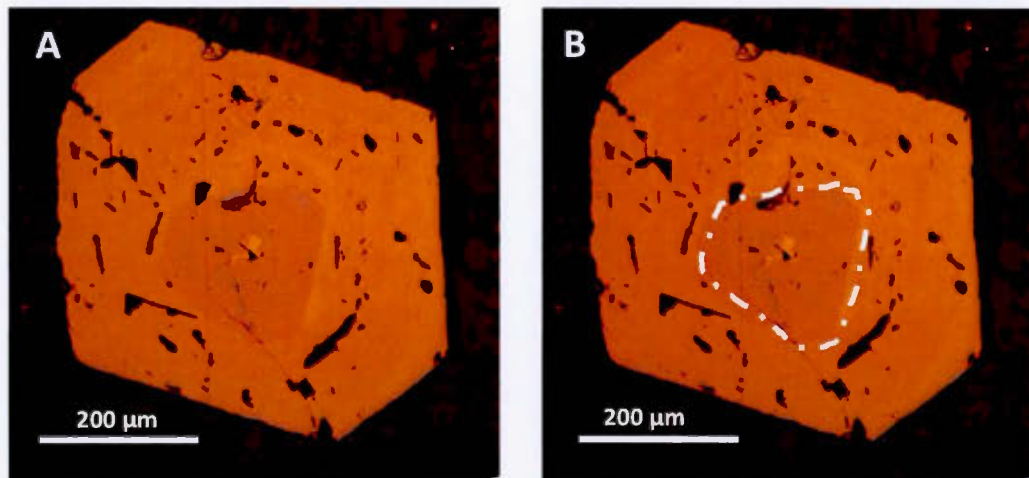
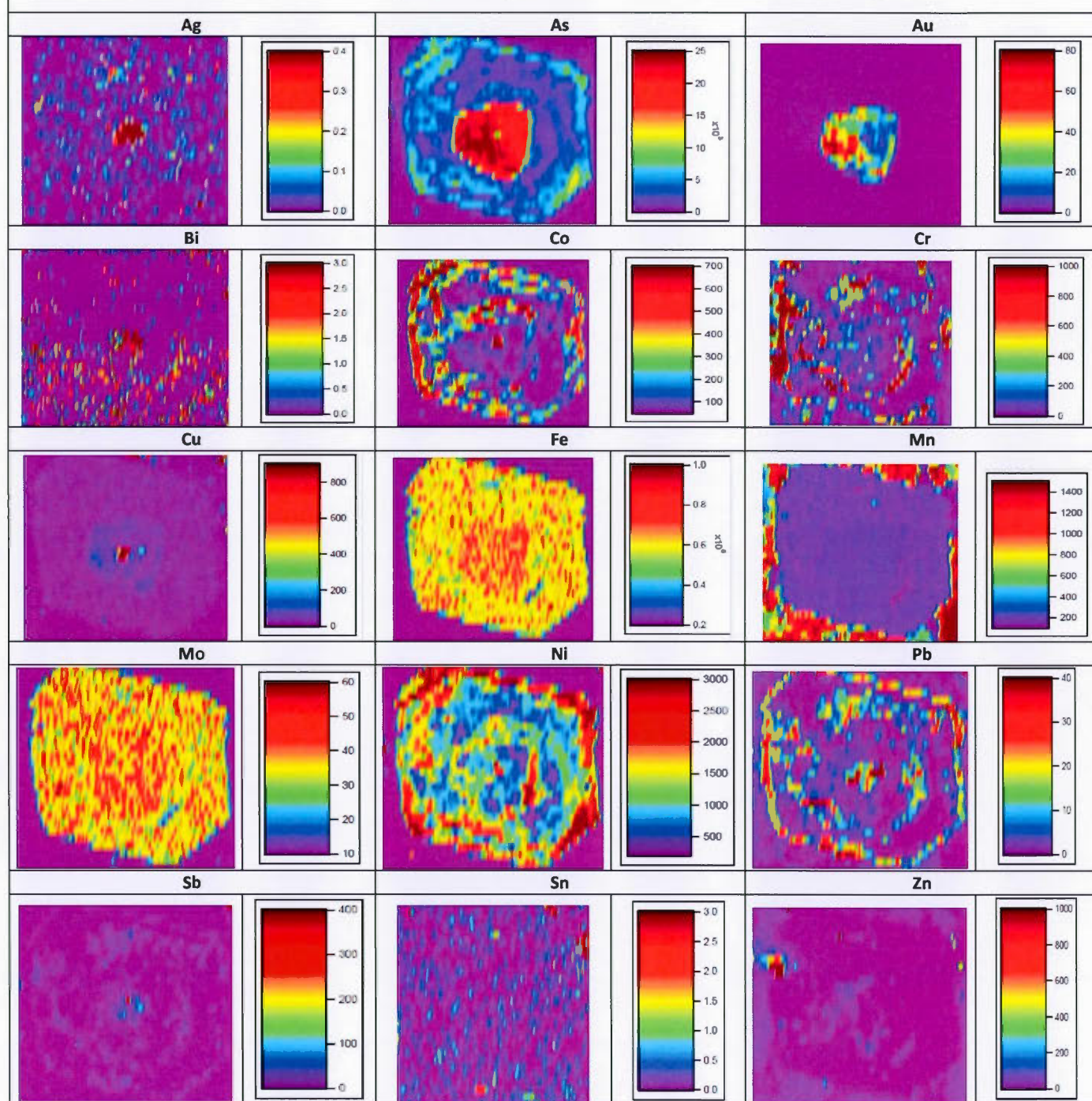


Figure 3.20: Visible particles of gold in the ultramafic rocks: (a) at the interface between pyrite (Py) and chalcopyrite (Ccp) in the Augmitto sector and (b) at the interface between loellingite (Lo) and arsenopyrite (Apy) in the Astoria area.



Figures 3.21: Microphotographs illustrating the hydrothermal pyrite, in the ultramafic rocks of the Cinderella sector, with zonings (a) before and (b) after interpretation using the results of the analyzed by LA-ICP-MS: the core is enriched with Fe, Cu, As, Ag, Sb and Au, with an average gold content which exceeds 18 ppm, while the rim is enriched with Cr, Co and Ni, with a gold content that does not exceed 60 ppb.

Figure 3.22 : LA-ICP-MS mapping realized on the hydrothermal pyrite from the ultramafic rocks of the Piché Group.



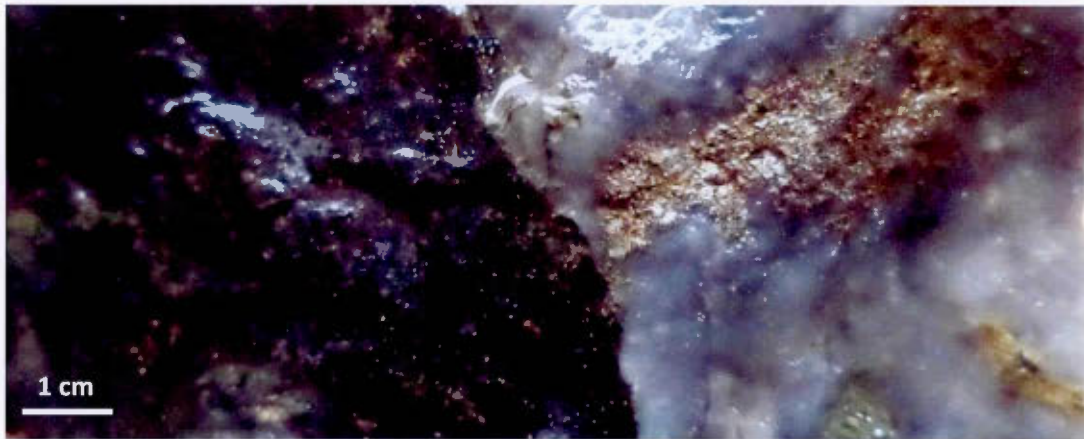


Figure 3.23: Microphotograph illustrating the dark magnetic skarn in contact with a pyrite mineralized vein of quartz in the Astoria sector.

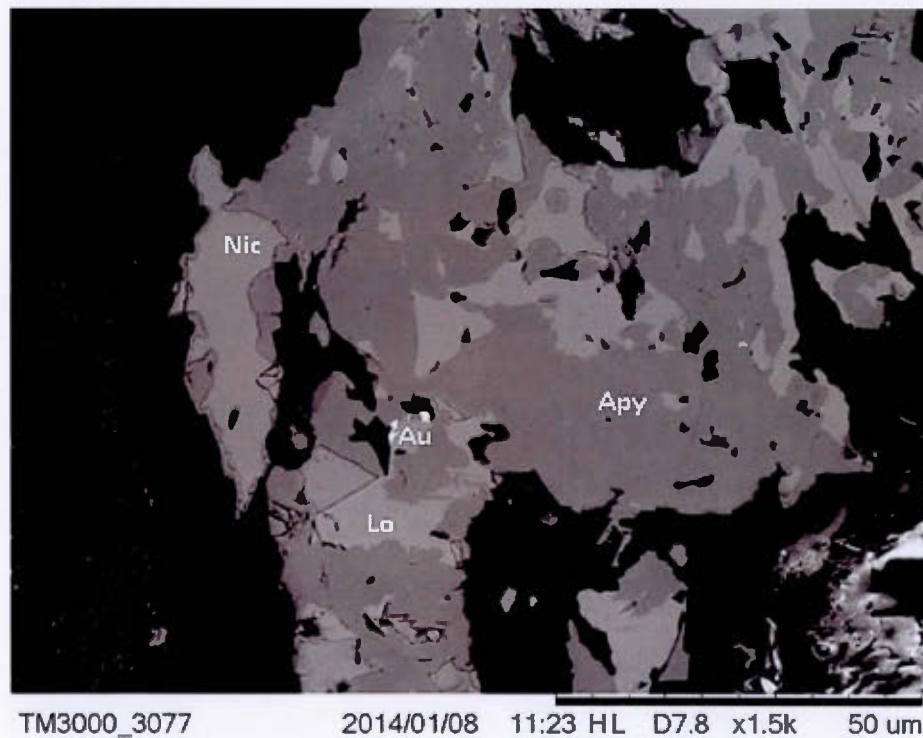


Figure 3.24 :Microphotograph illustrating a crystal of arsenopyrite (Apy) replacing nickeline (Nic) as well as particles of gold (Au) at the interface between arsenopyrite and nickeliferous loellingite (Lo) in the mineralized skarn of the Astoria sector.

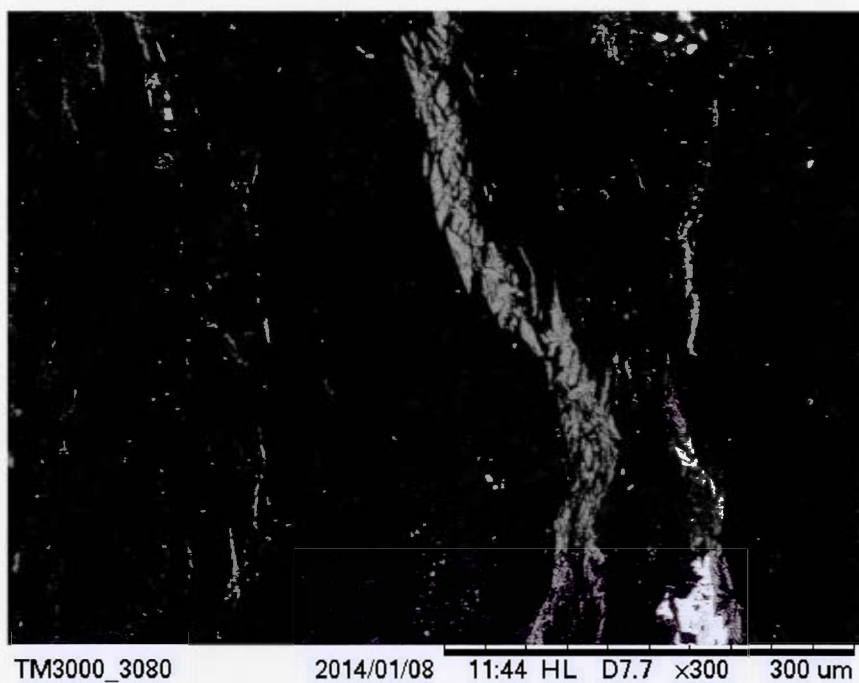
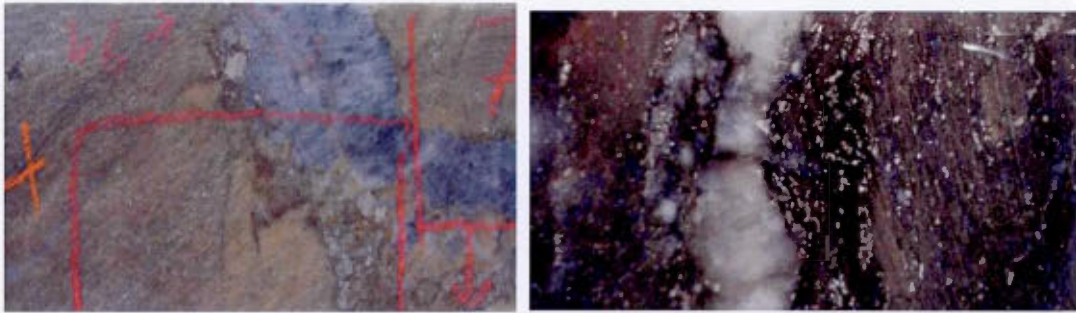


Figure 3.25 : Microphotograph illustrating the numerous folded veinlets of hematite in the mineralized skarn of the Astoria sector.



Figures 4.1: Photographs illustrating (a) the footwall sediments of the Augmitto sector and (b) the hanging wall sediments of the Lac Gamble area. Except the habit of sulphides elongated in the shear direction and the presence of antimony minerals in the mineralization within hanging wall, no major differences have been observed between these two lithologies: they are both foliated, contain veins and veinlets of milky quartz, carbonates and sulphides as well as medium to finely crystallized minerals with greyish tints.

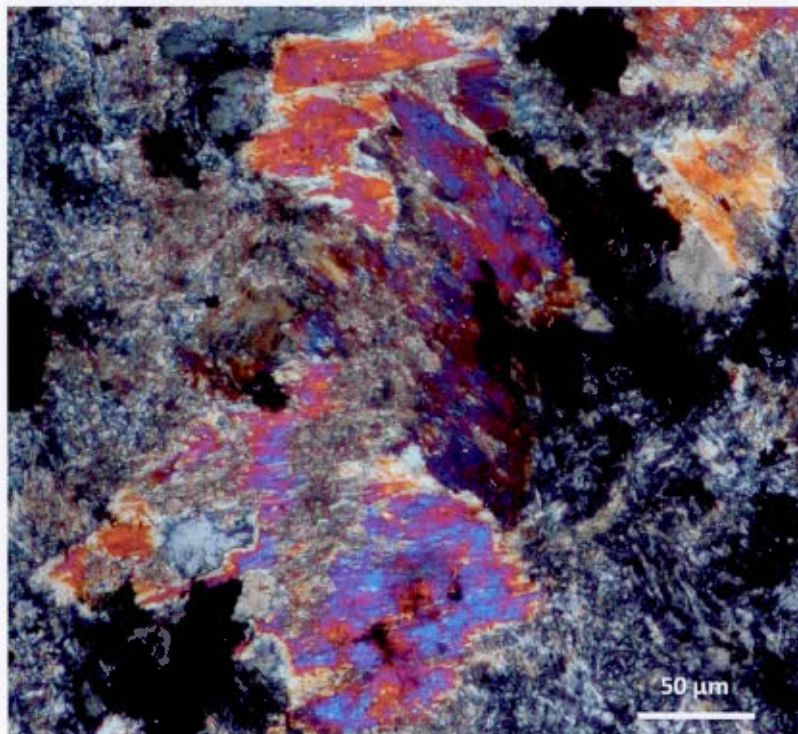


Figure 4.2: Microphotograph illustrating the amphibolised crystals of biotite in the ultramafic rocks of the Astoria sector: the iron-oxide particles move toward the biotite border. The metamorphic stage lies at the limit between the superior greenschists and the amphibolite facies.

Alteration	Silicification		
	Sericitisation and tourmalinisation	Carbonatation	Chloritisation and sulphidation
Deformation phase			Brecciation of sulphides
Quartz			
Plagioclases			
Monazite			
Zircons			
Rutile			
Sericite			
Tourmaline			
Epidote			
Actinolite			
Amphibolised Biotite			
Muscovite			
Carbonates			
Chlorite			
Chalcopyrite			
Arsenopyrite			
Cubic pyrite			
Mackinawite			
Dendritic pyrite			
Porous Pyrite			
Pyrrhotite			
Sphalerite			
Pentlandite			
Gersdorffite			
Antimony minerals			
Chromite			
Galena			
Ilmenite			
Loellingite			
Gold			
	Invisible gold	Visible gold	Nuggetisation

Figure 4.3: Paragenesis of the sediments of the Timiskaming Group along the Augmitto-Astoria sector.

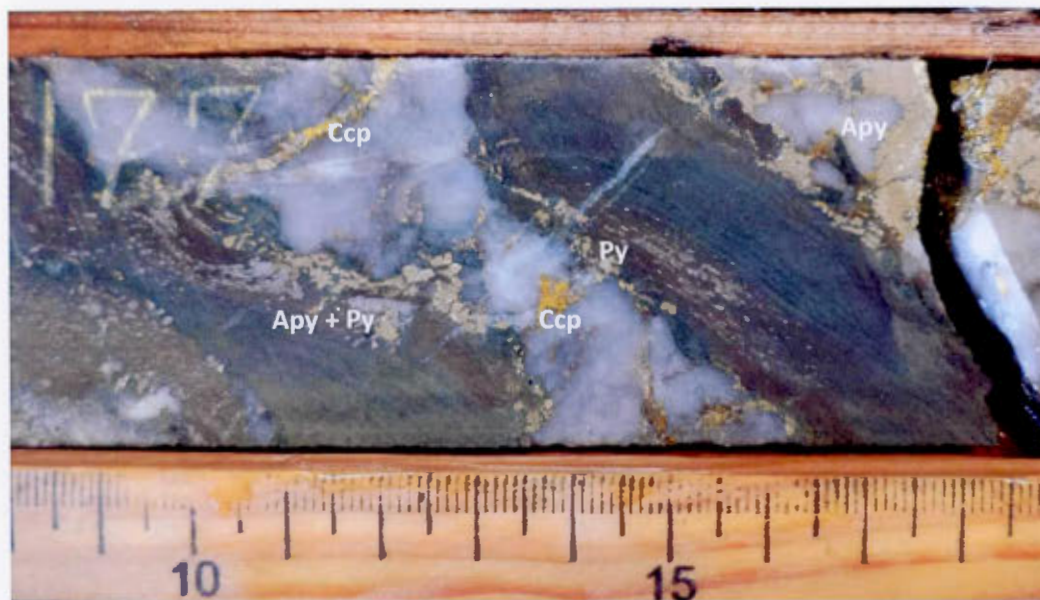
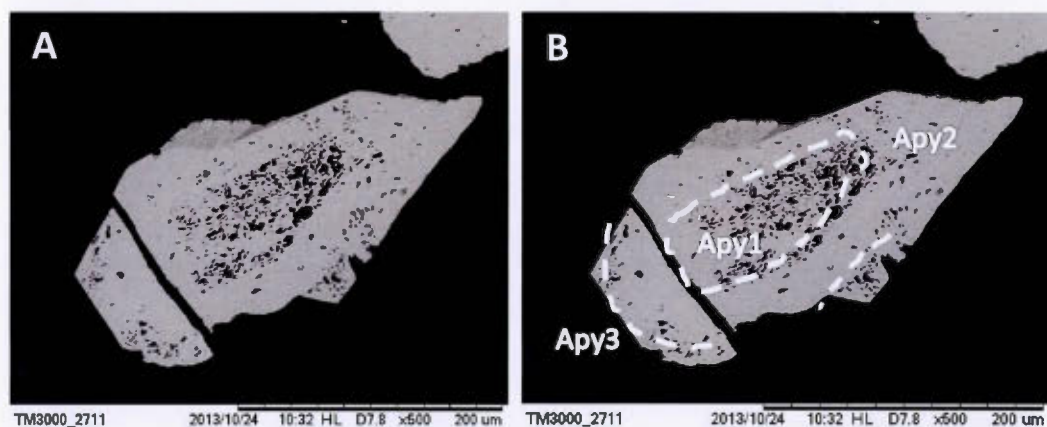
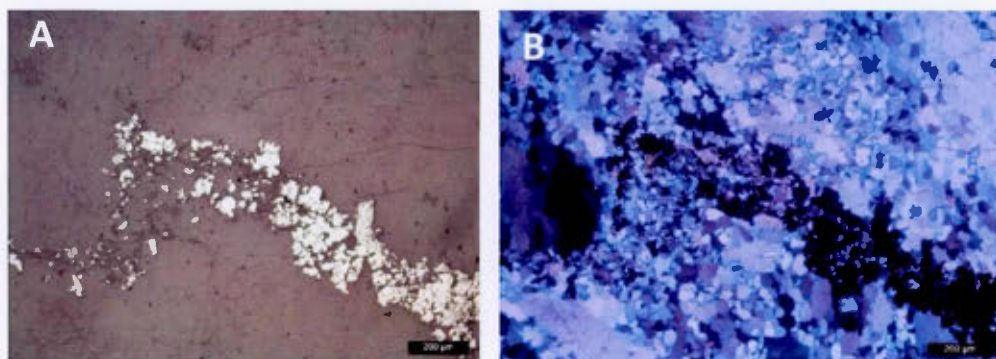


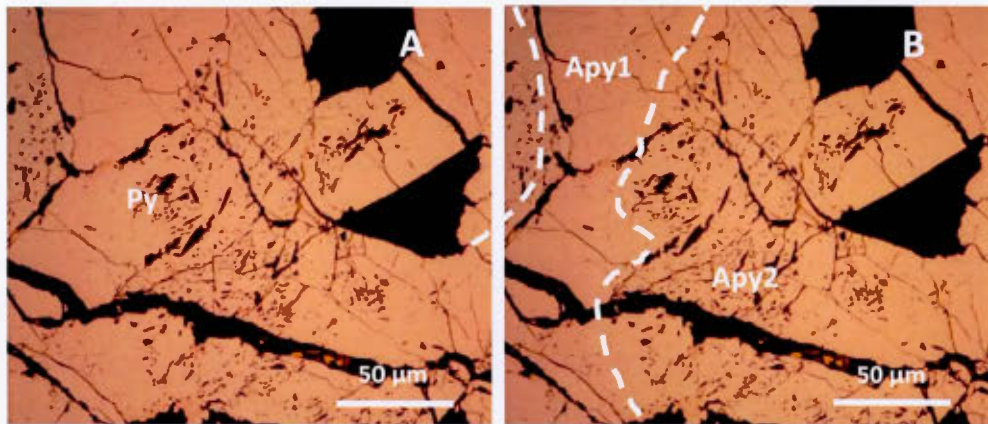
Figure 4.4: Photograph illustrating a sample of the black-shales of the Astoria sector with a matrix composed of tourmaline, chlorite, carbonates, amphibolised biotites and glaucophanes, as well as framboidal pyrite (Py) and veins (> 1 mm) of arsenopyrite (Apy) and chalcopyrite (Ccp) that crosscut veins of quartz.



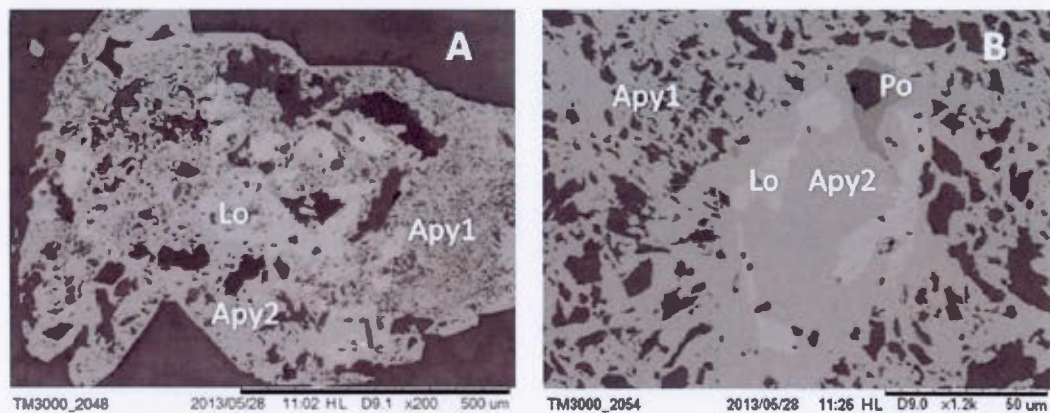
Figures 4.5: Microphotographs illustrating (a) the fine zoned euhedral crystal of arsenopyrite in the Astoria sector and (b) its interpretation in term of zonings. This crystal seems to have known at least three stages of crystallization: the core (Apy1) contains numerous dissolution textures, then appears a well crystallized zone (Apy2) and the rim remembers the Apy1 avec dissolution textures (Apy3).



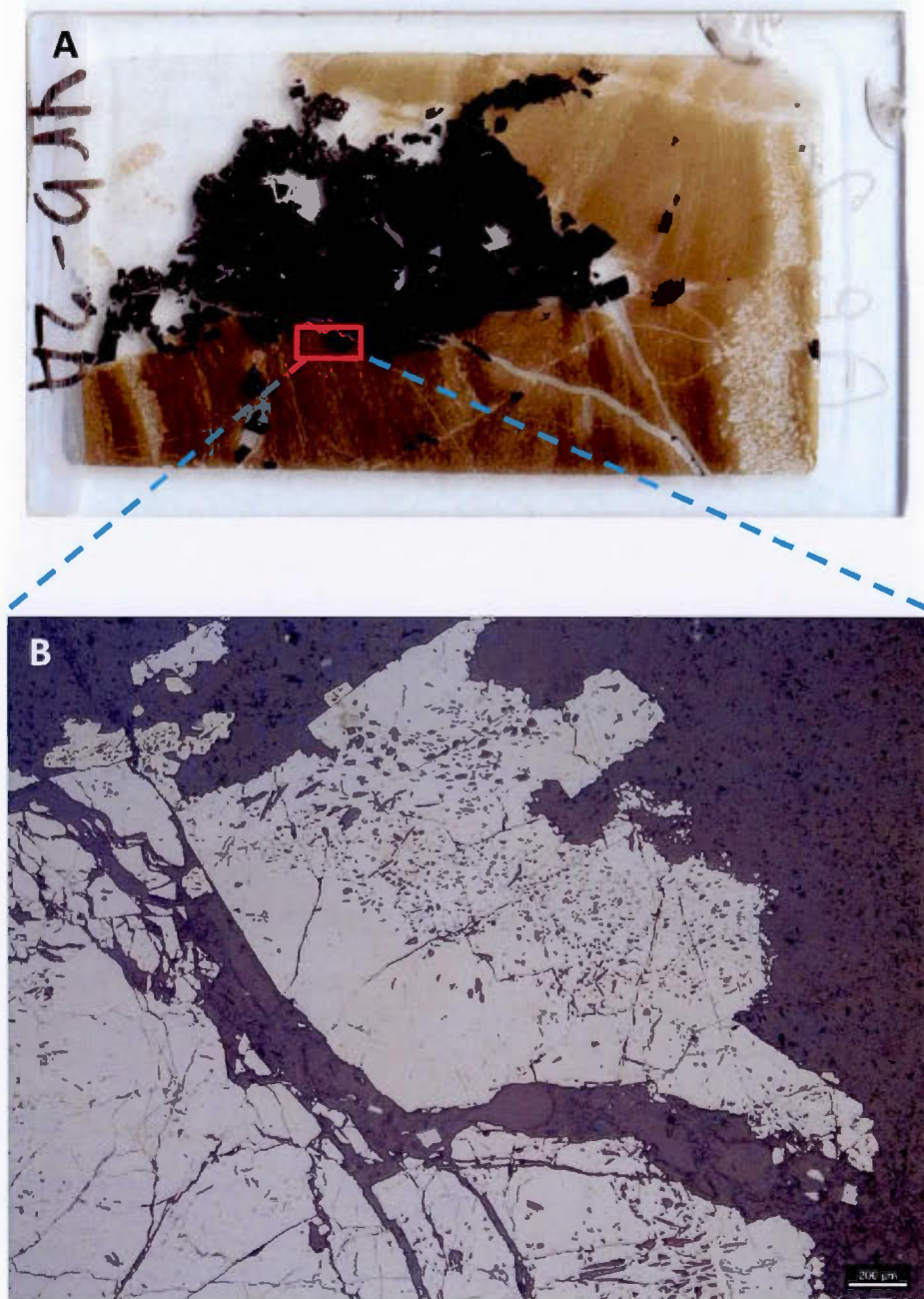
Figures 4.6: Microphotograph illustrating (a) the folded veinlet of arsenopyrite crystals crosscutting (b) a vein of quartz-carbonates in the footwall sediments of the Augmitto sector.



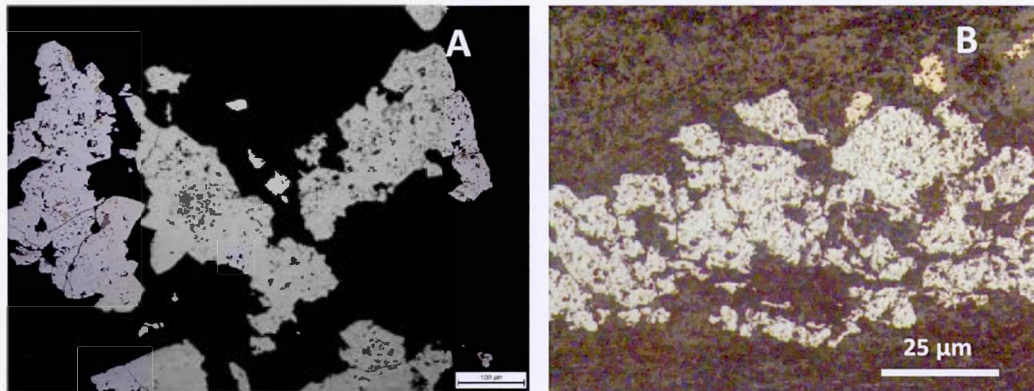
Figures 4.7 : Microphotographs illustrating the large anhedral crystals of arsenopyrite, in the footwall sediments of the Cinderella sector, with zonings, dissolution textures and fractures filled by pyrite (Py) within veinlets of quartz and carbonates in the Cinderella sector. (b) The interpretation concerning the zonings illustrates two generation of arsenopyrite: one well-crystallized crystal (Apy1) and the other one with fractures, inclusions of pyrrhotite and pyrite as well as the presence of numerous dissolutions textures (Apy2).



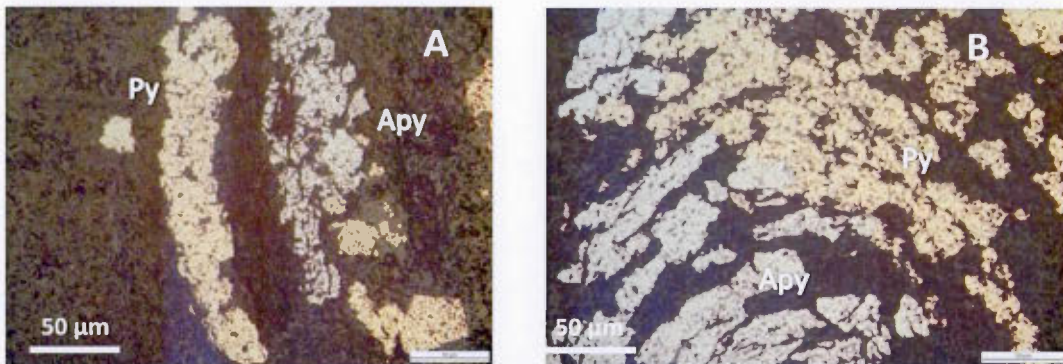
Figures 4.8: Microphotograph illustrating (a) the large anhedral crystals of arsenopyrite (Apy) observed in the Astoria sector: they contain zonings, dissolution textures, fractures and inclusions of loellingite. (b) Loellingite (Lo) seems to be mainly located in the well-crystallized arsenopyrite, in the vicinity of pyrrhotite crystals (Po).



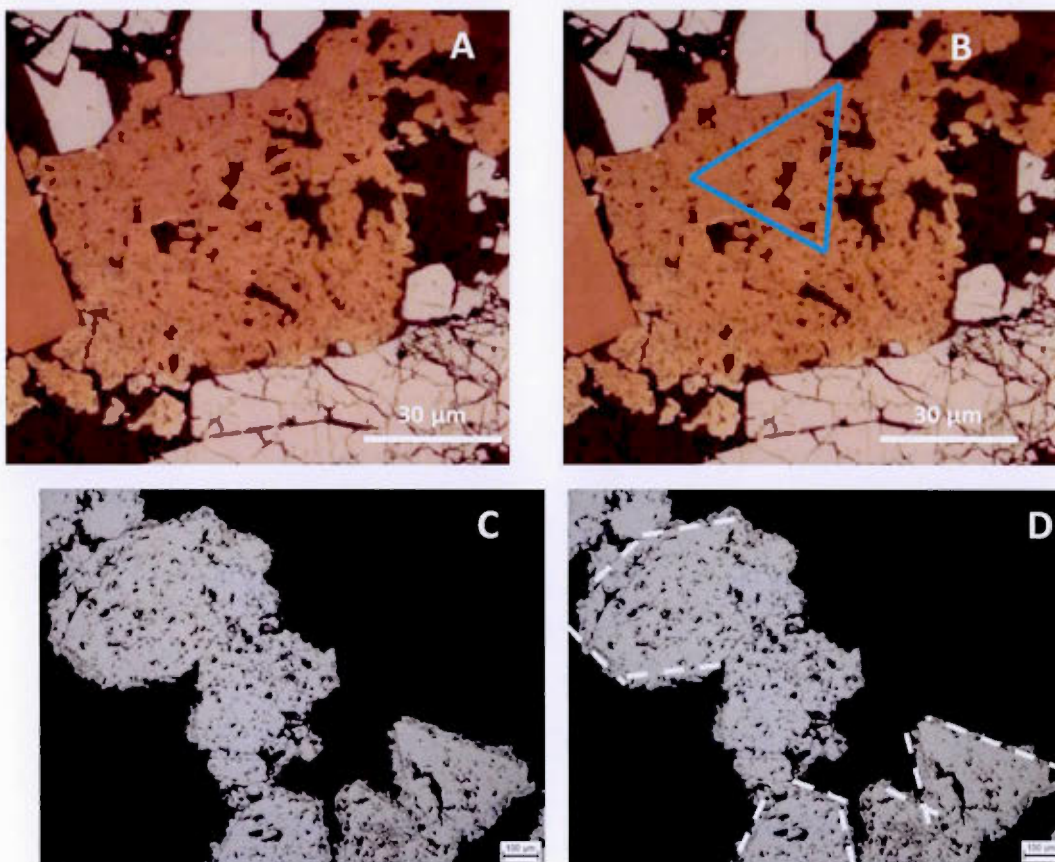
Figures 4.9: Photographs illustrating the arsenopyrite crystals within the shear fracture of the Cinderella sector. (a) The LA-ICP-MS analyses have been realized on the arsenopyrite crystal located in the red square. (b) The core of this large crystal is well crystallized; with several dissolution textures. It contains inclusions of pyrite and gold and locally has pyrite, chalcopyrite and visible gold filling its fractures. Its rim has irregular borders with numerous dissolution textures.



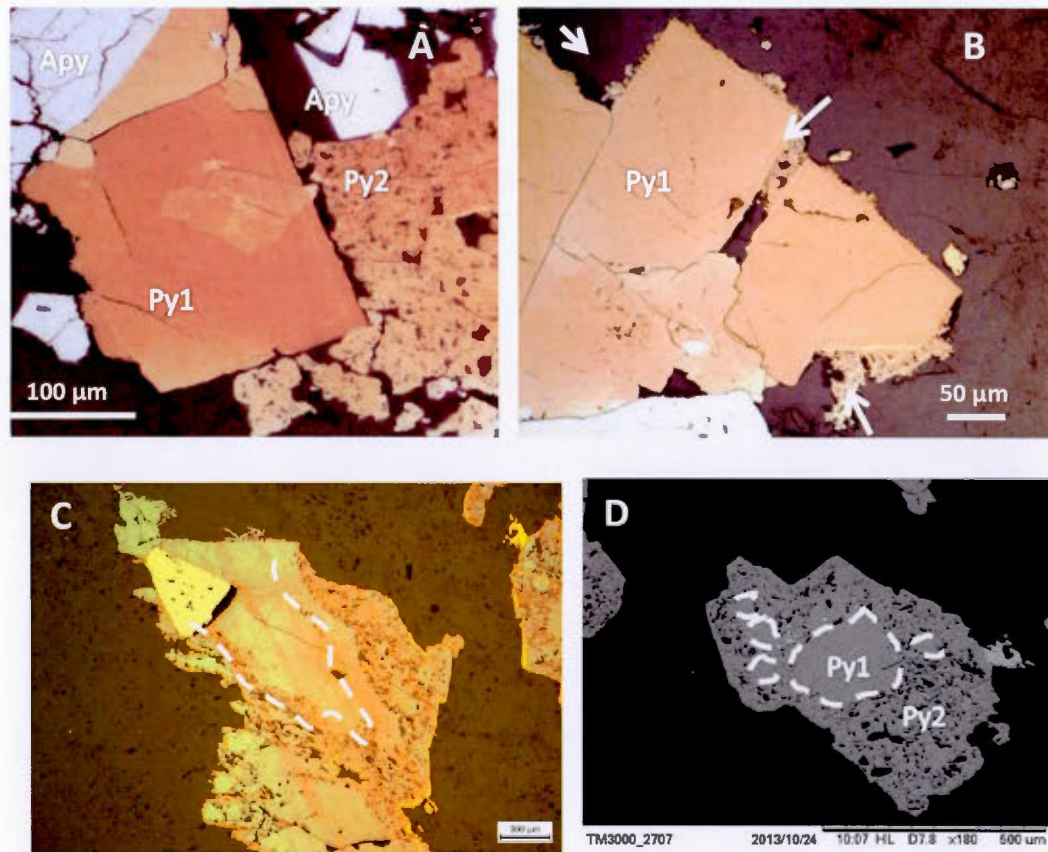
Figures 4.10: Microphotographs illustrating the arsenopyrite crystals analysed by LA-ICP-MS in the ultramafic rocks of the Astoria sector: (a) centimeter-sized anhedral crystal with irregular borders, dissolution textures and inclusions of loellingite, pyrrhotite and galena and (b) anhedral crystal elongated in the shear direction with porous textures and irregular borders.



Figures 4.11: Microphotographs illustrating the crystals of pyrite (Py) and arsenopyrite (Apy) (a) elongated in the shear direction and (b) folded within a vein of carbonates in the black shales of the Astoria sector.



Figures 4.12: Microphotograph illustrating the crystals of pyrite displaying replacement textures: (a) pyrite in the footwall sediments of the Cinderella sector and (b) its interpretation with a triangular-shaped sulphide; (c) pyrite in the black shales of the Astoria area and (d) its interpretation of hexagonal and triangular shapes.



Figures 4.13: Microphotographs illustrating the different pyrites, in the footwall sediments of the Cinderella sector, with a well-crystallized core and dissolutions textures on the rim. (a) A cubic crystal of pyrite (Py1) surrounded by a pyrite with dissolution textures (Py2), crystals of arsenopyrite (Apy) and (b) late dendritic recrystallization textures on their rim (white arrows). (c) Pyrite with a well-crystallized core, without inclusions or cavities (Py1), and the rim has irregular brecciated borders and late dendritic recrystallization textures (Py2). (d) Crystal of pyrite with two stages of crystallization: the first stage (Py1) is represented by a well-crystallized core while the second stage (Py2) contains numerous dissolution textures.

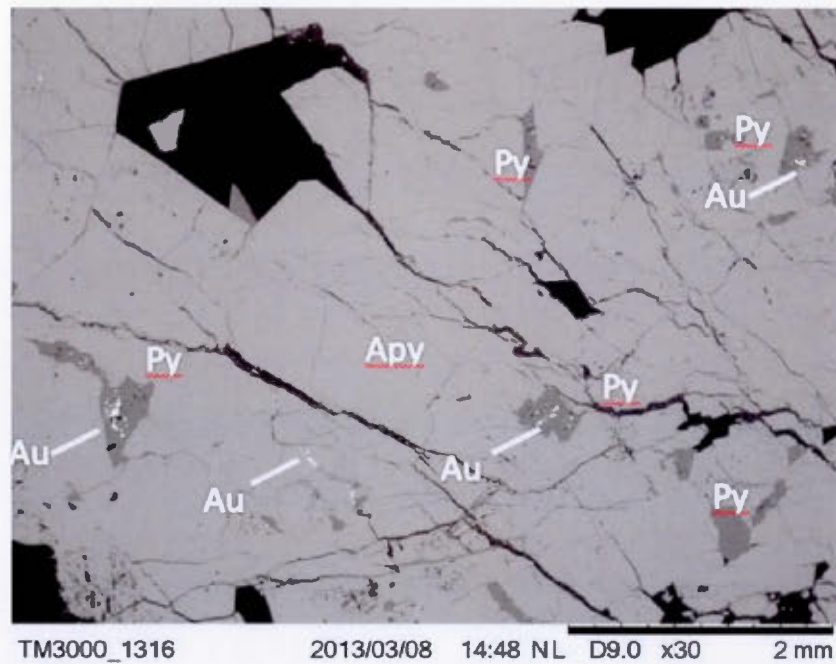
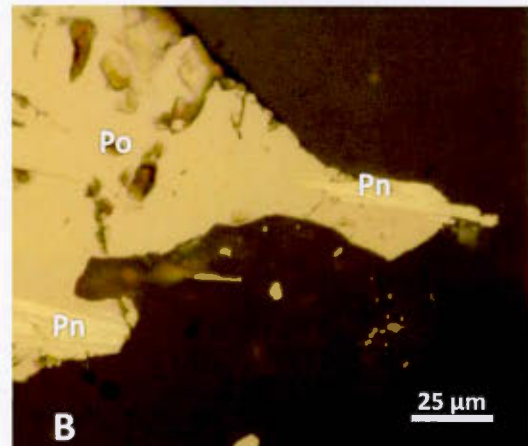
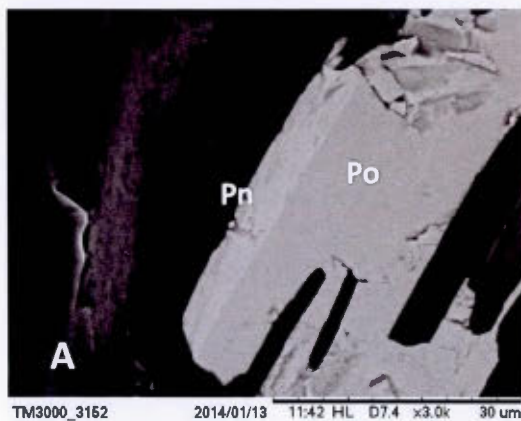


Figure 4.14: Microphotograph illustrating the crystals of pyrite (Py) trapped within a large crystal of arsenopyrite (Apy) and filling its fracture in the footwall sediments of the Cinderella sector. The particles of gold (Au) are mainly located in these pyrites.



Figures 4.15: Microphotographs illustrating a crystal of pyrrhotite (Po) with irregular borders and lamellae of pentlandite (Pn) in the footwall sediments of the (a) Cinderella and (b) Astoria sectors.

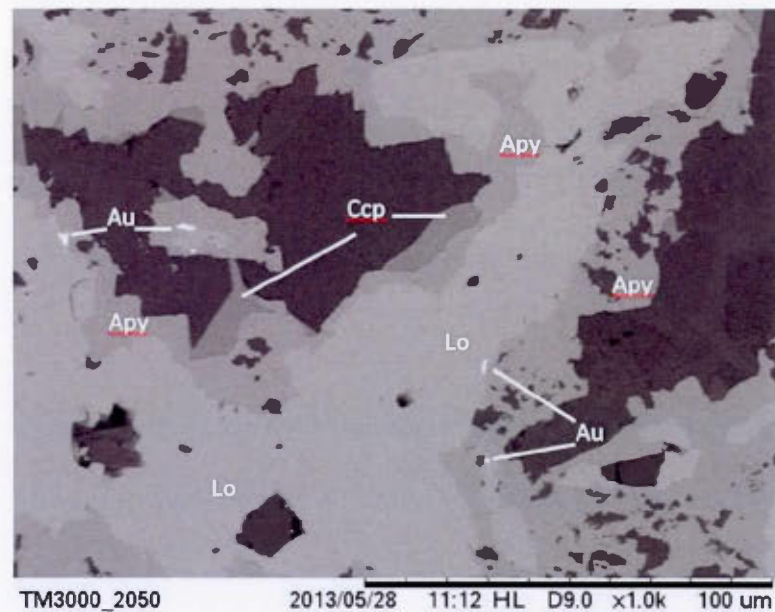
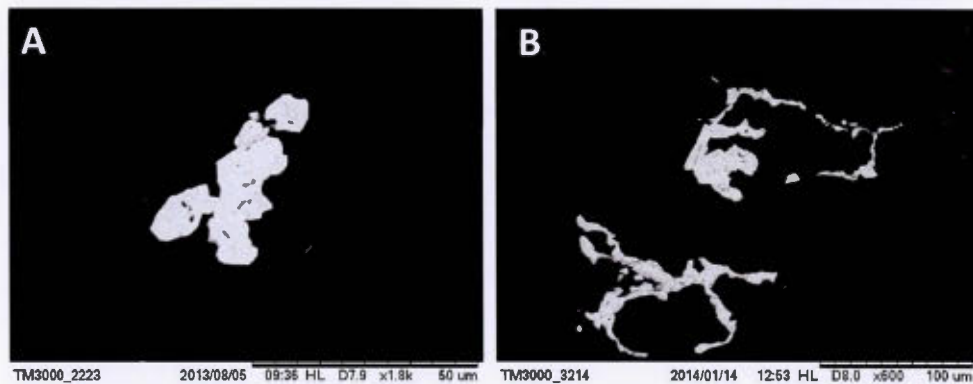
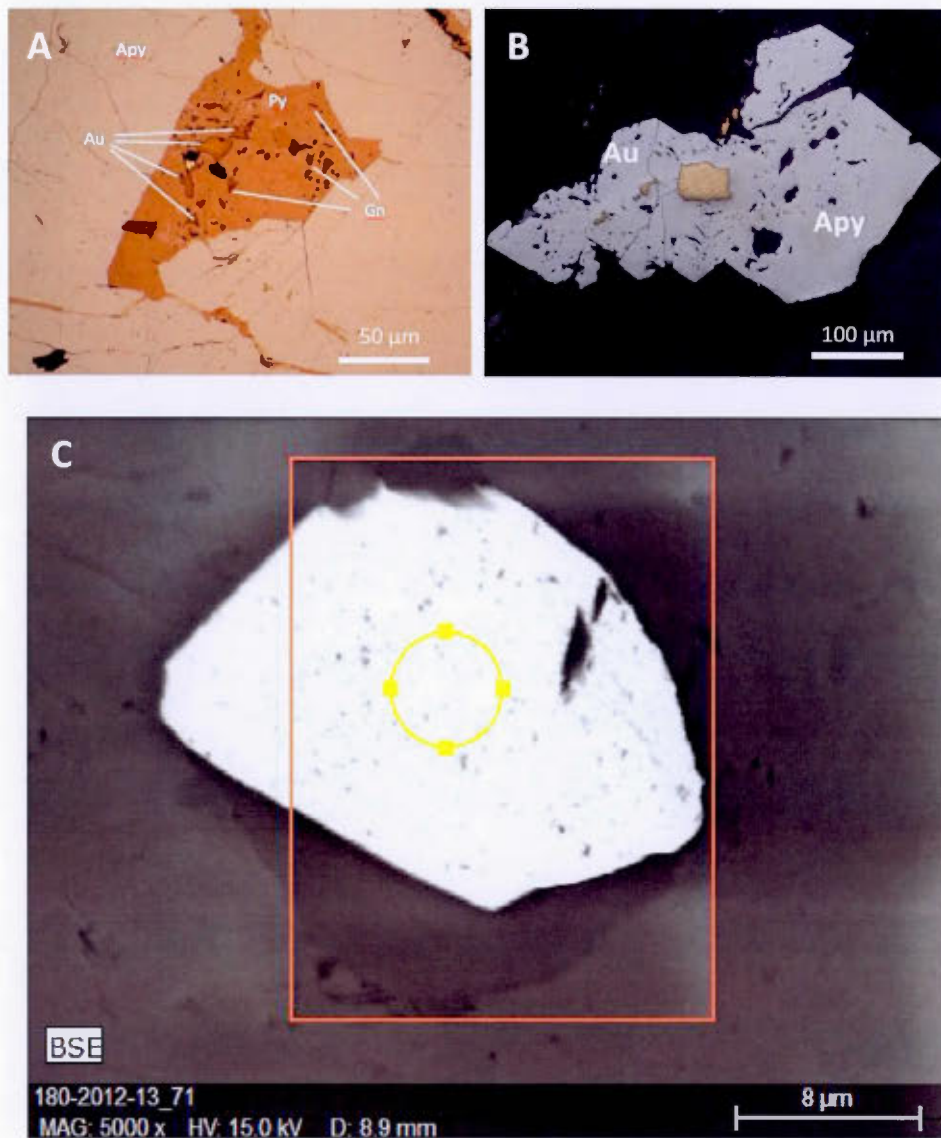


Figure 4.16: Microphotograph illustrating a crystal of arsenopyrite (Apy) associated with chalcopyrite (Ccp) and loellingite (Lo) in the footwall sediments of the Cinderella sector. The particles of gold (Au) are located at the interface between loellingite and arsenopyrite.



Figures 4.17: Microphotographs illustrating (a) a crystal of monazite within the matrix of the footwall sediments in the Cinderella sector and (b) several anhedral crystals of gersdorffite within the matrix in the footwall sediments of the Astoria sector.



Figures 4.18: Microphotographs illustrating three different habitus of gold: (a) particles of gold (Au) and galena (Gn) are associated with pyrite (Py) within large clusters of arsenopyrite (Apy) in the shear fracture of the footwall sediments of the Cinderella sector; (b) crystals of gold (Au) associated with arsenopyrite (Apy) in the footwall sediments of the Cinderella area and (c) as free gold in the footwall sediments of the Astoria sector.

Figure 4.19 : LA-ICP-MS mapping of the framboidal pyrite, Py-13, from the black shales of the Astoria sector. Scales are in ppm.

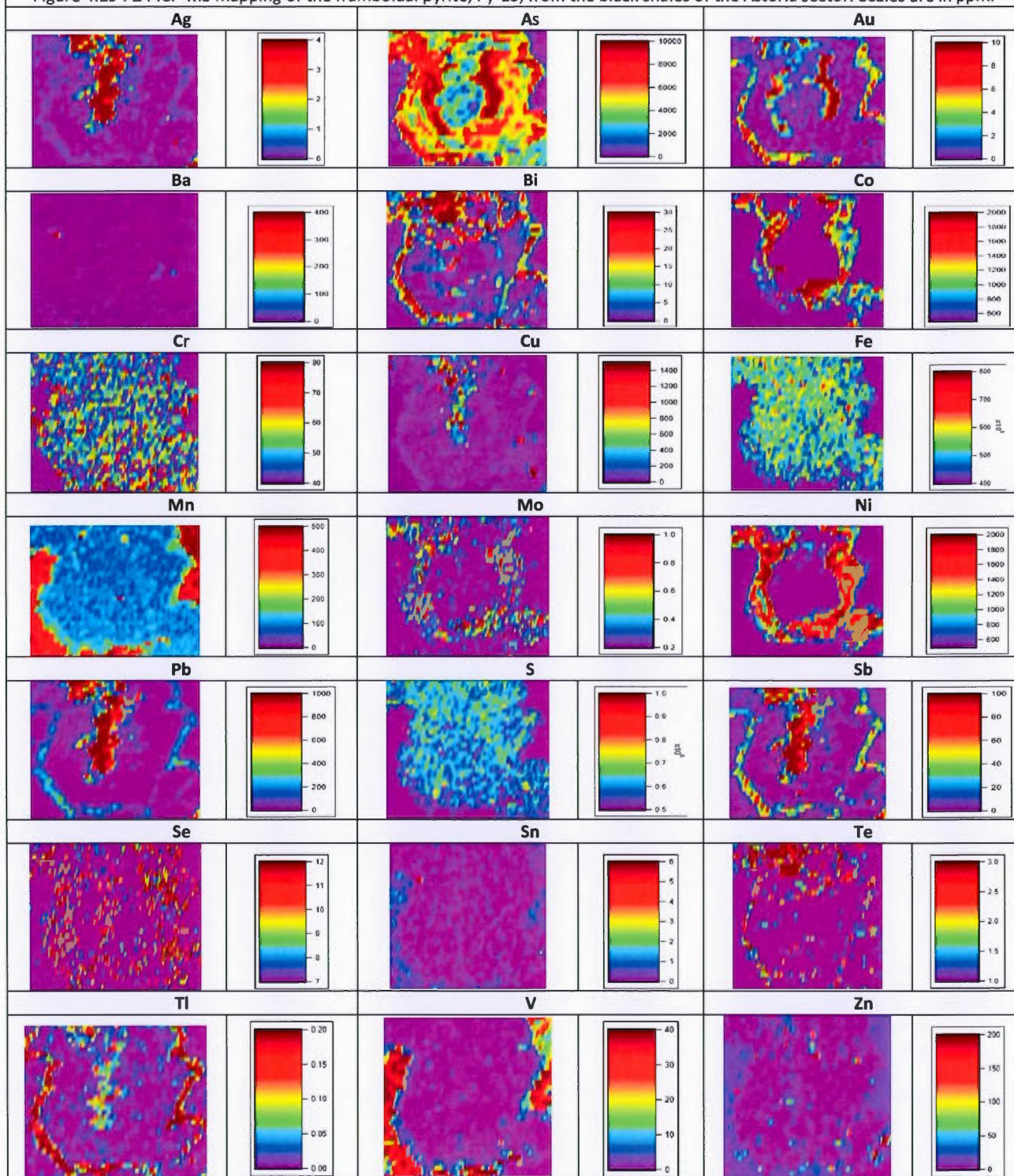


Figure 4.20 : LA-ICP-MS mapping of the hydrothermal pyrite, Py-4, in the footwall sediments of the Cinderella area. Scales are in ppm.

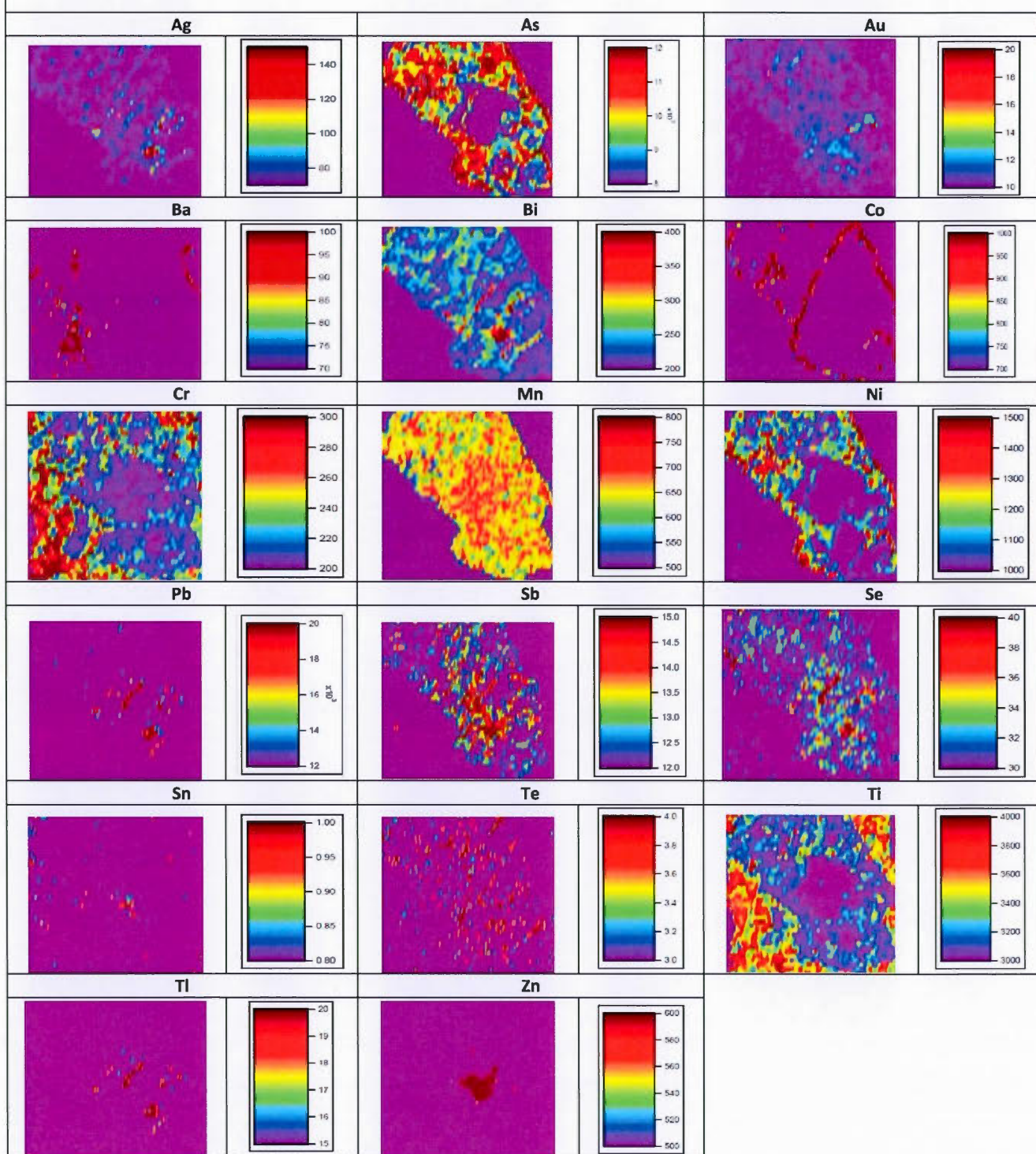




Figure 4.21 : Photograph of a thin section illustrating the preferentially oriented sulphides in the hanging wall sediments of the Cinderella sector.

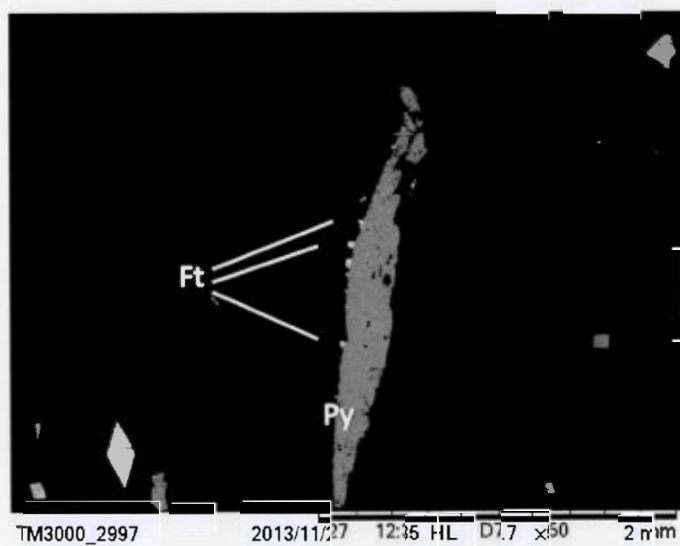
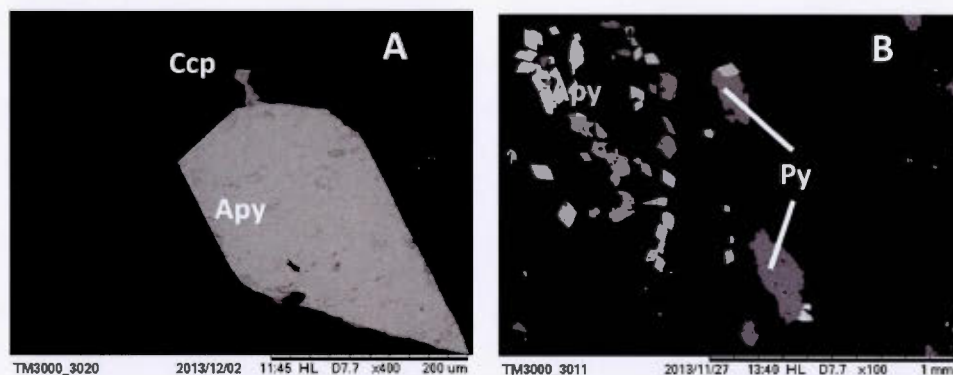
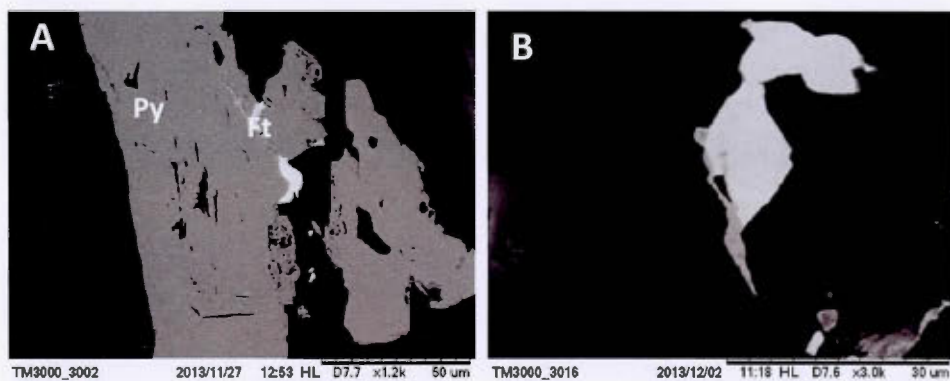


Figure 4.22: Microphotograph illustrating a crystal of pyrite (Py) elongated in the shear direction and associated with minerals of famatinite (Cu_3SbS_4) (Ft) in the hanging wall sediments of the Augmitto sector.



Figures 4.23: Microphotographs illustrating the two habitus of the arsenopyrite crystals: (a) a large euhedral crystal of arsenopyrite (Apy) associated with chalcopyrite (Ccp) in the hanging wall sediments of the Cinderella sector and (b) tiny euhedral crystals associated with pyrite (Py) in the hanging wall sediments of the Augmitto area.



Figures 4.24: Microphotographs illustrating (a) a crystal of pyrite (Py) elongated in the shear direction and associated with famatinite (Ft) crystals in the hanging wall sediments of the Augmitto sector and (b) a crystal of ullmannite within the matrix in the hanging wall sediments of the Cinderella sector.

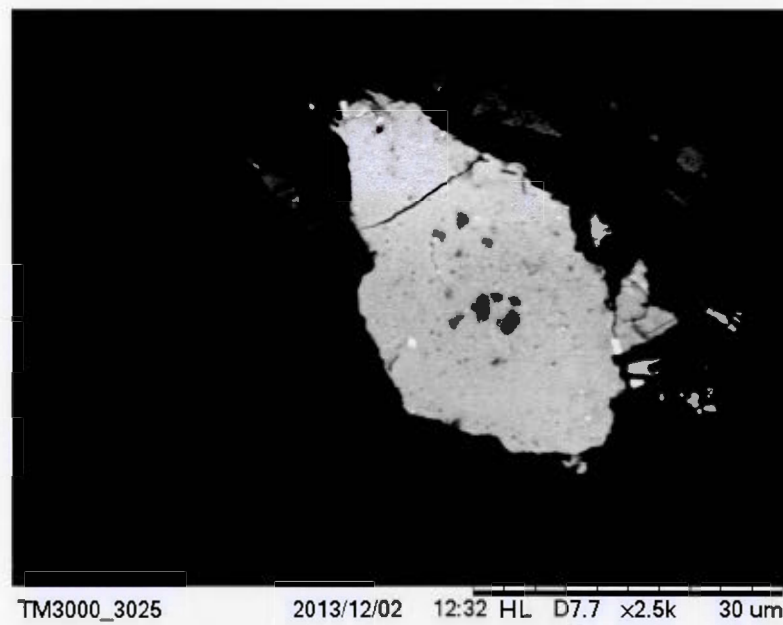
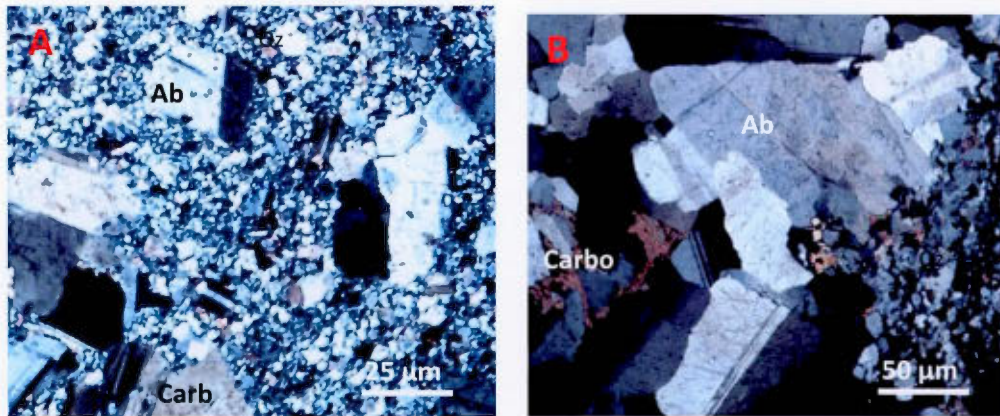


Figure 4.25 : Microphotograph illustrating a crystal of thorite (ThSiO₄) in the hanging wall sediments of the Lac Gamble sector.



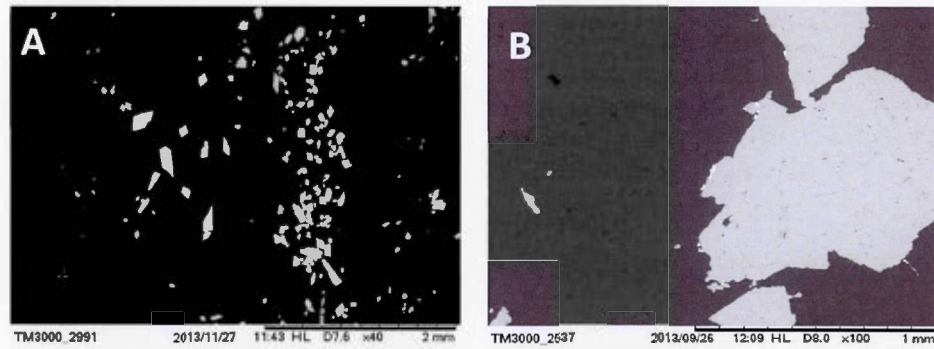
Figure 5.1: Photograph of a drill core illustrating the textures and structures of the albitite dykes in the Cinderella sector. It displays brown-pinkish colors and a tint which varies from slight cream to orange. Albitized and silicified zones present clear contacts with the surrounding rocks.



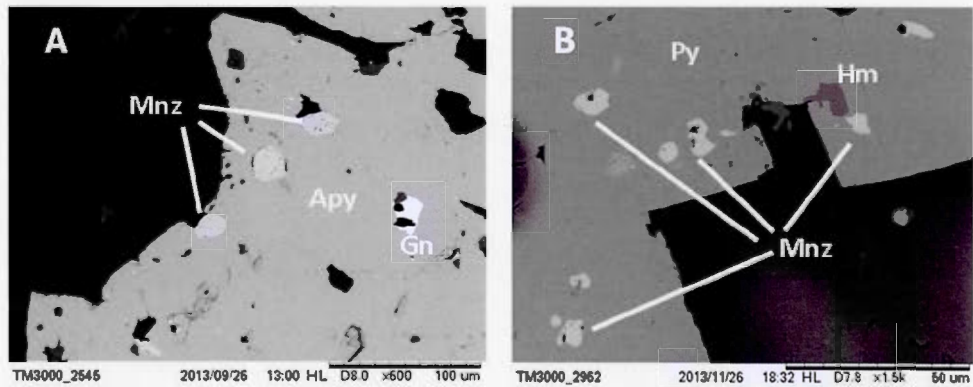
Figures 5.2: Microphotographs illustrating the minerals present within the matrix of (a) the albitite dykes of the Cinderella sector with minerals such as albite (Ab), quartz (Qz) and carbonates (Carb) and (b) the sample Yrb12-05, described by the company as an ultramafic rock, with minerals such as albite (Ab), quartz (Qz) and carbonates (Carb). The two thin sections described above contain the same minerals with similar textures and structures.

Alteration	Silicification		
	Potassic to phyllic alteration	Carbonatation	Sulphidation
Deformation phase			Brecciation of sulphides
Quartz			
Albite			
Tourmaline			
Muscovite			
Chlorite			
Sericite			
Carbonates			
Pyrite			
Arsenopyrite			
Galena			
Ilmenite			
Hematite			
Chalcopyrite			
Nickel minerals			
Monazite			
Gold			
Invisible gold			Visible gold

Figure 5.3: Paragenesis of the albitite dykes along the Augmitto-Astoria corridor.



Figures 5.4: Microphotograph illustrating the two habitus of arsenopyrite crystals in the albitite dykes: (a) veinlets of tiny euhedral crystals in the Cinderella sector and (b) large anhedral crystals with irregular borders in the Astoria area.



Figures 5.5: Microphotographs illustrating the crystals of monazite (Mnz) filling the cavities of (a) a large crystal of arsenopyrite with irregular borders and galena (Gn) inclusions and (b) a large crystal of pyrite with pyrrhotite (Po) and hematite (Hm) inclusions, in the albitite dykes of the Cinderella sector.

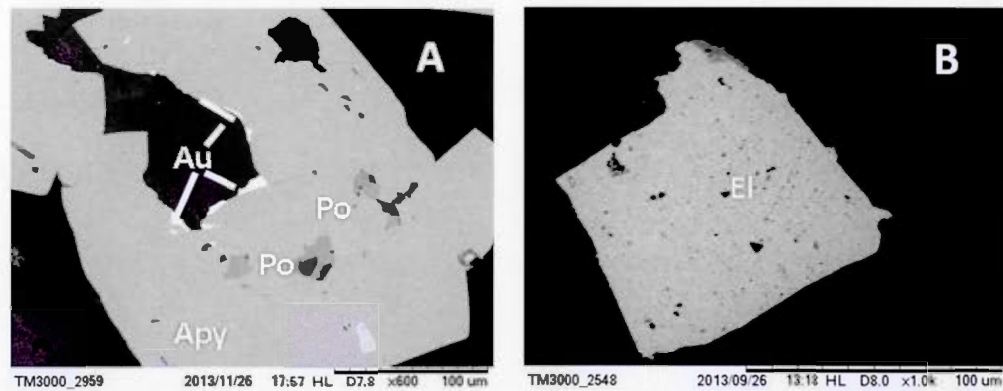


Figure 5.6: Microphotographs illustrating (a) the particles of gold (Au) on the rim of arsenopyrite (Apy) crystals with inclusions of pyrrhotite (Po) and (b) one particle of electrum (El) within the matrix of the albitite dyke of the Cinderella sector.

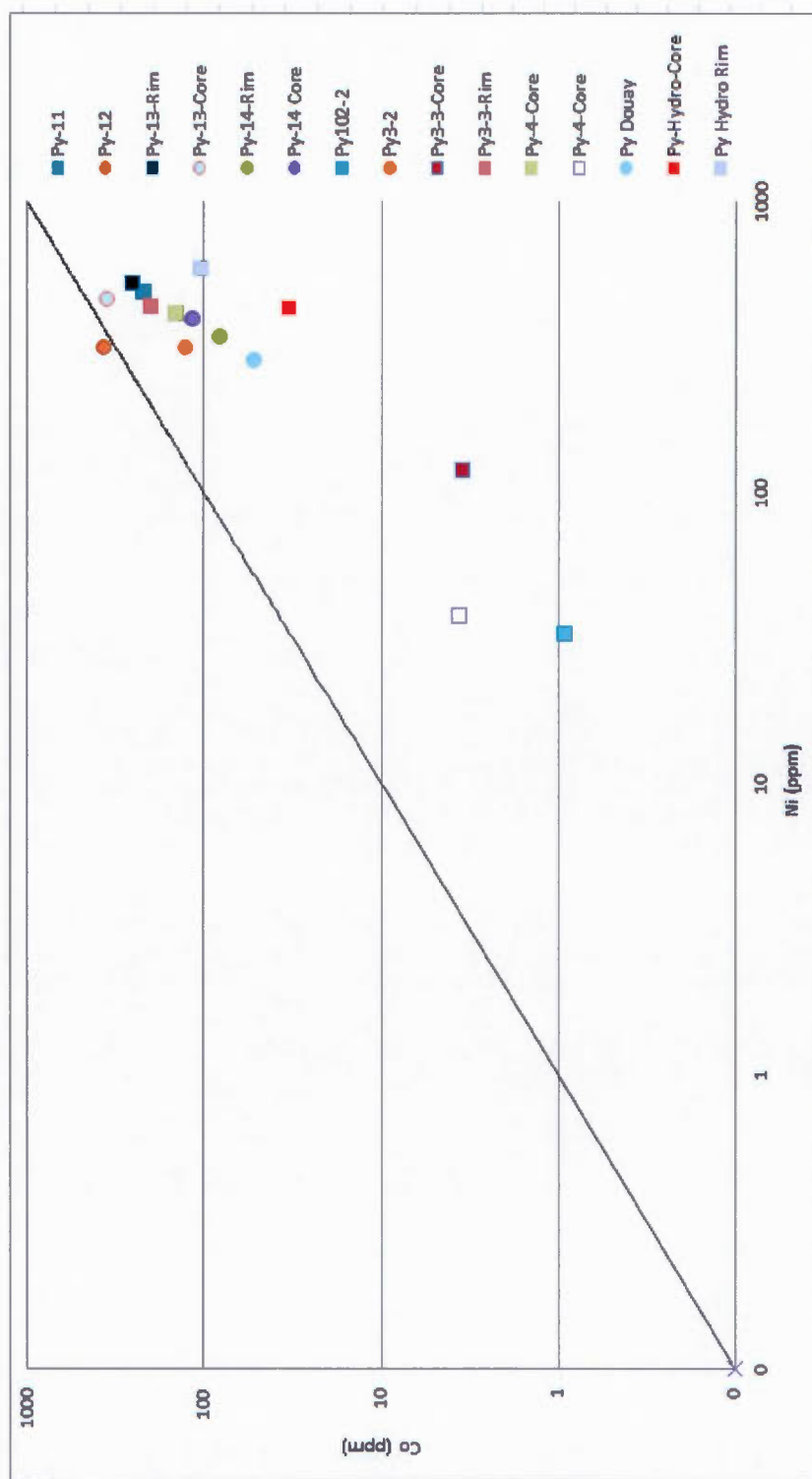


Figure 6.1: Diagram illustrating the evolution of cobalt (Co) depending on nickel (Ni). Each one of the pyrites have Ni contents inferior to the Co=Ni stray line, which means that these pyrites have the same tendency than the pyrites of sedimentary origin (Deol et al., 2012; Large et al., 2014).

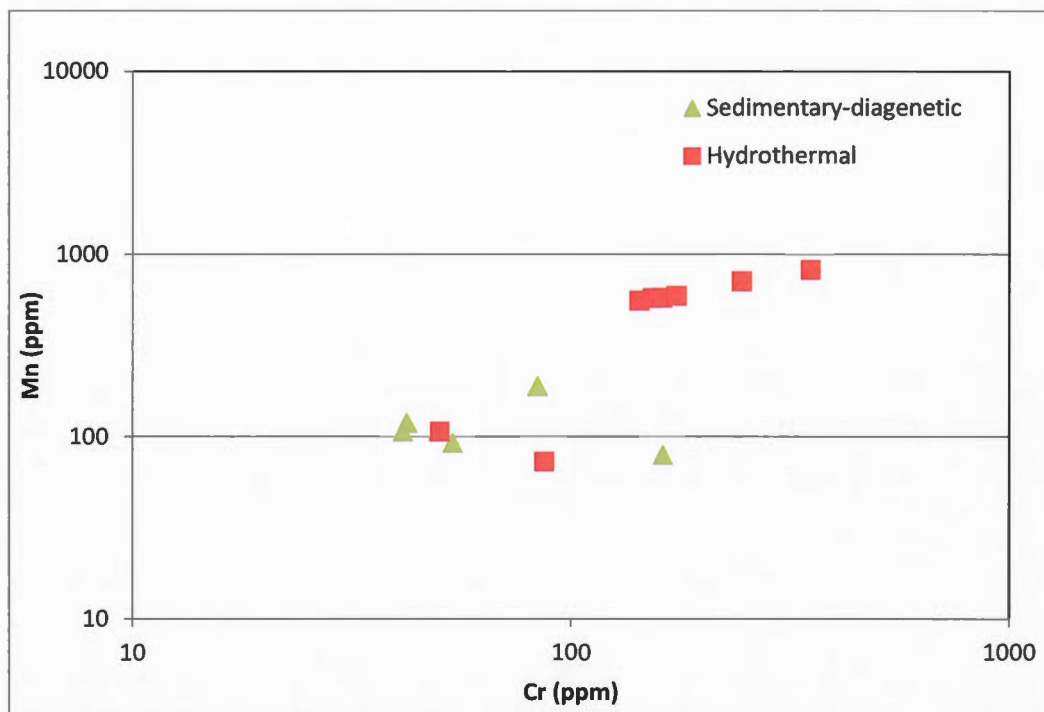


Figure 6.2: Diagram illustrating the evolution of manganese (Mn) depending on chrome (Cr): two populations of pyrites are created: one population with high values of both Mn and Cr, corresponding to the hydrothermal pyrites and a second population with lower values of both Cr and Mn, corresponding to the sedimentary-diagenetic pyrites with one exception, the hydrothermal pyrite Py-Hydro

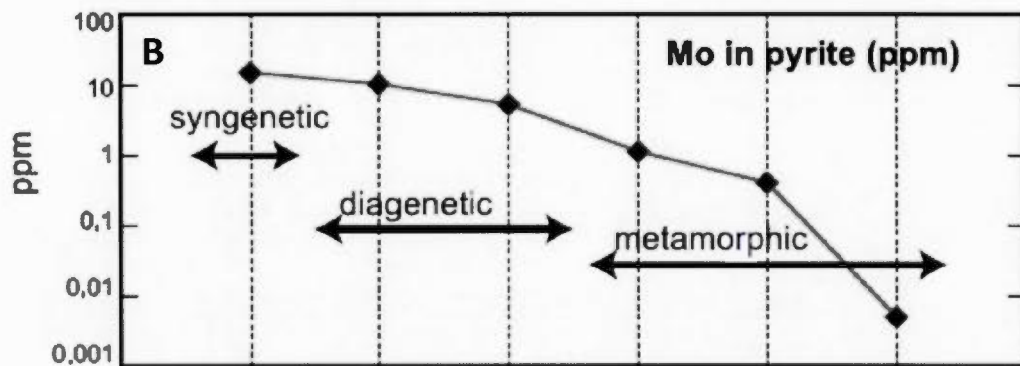
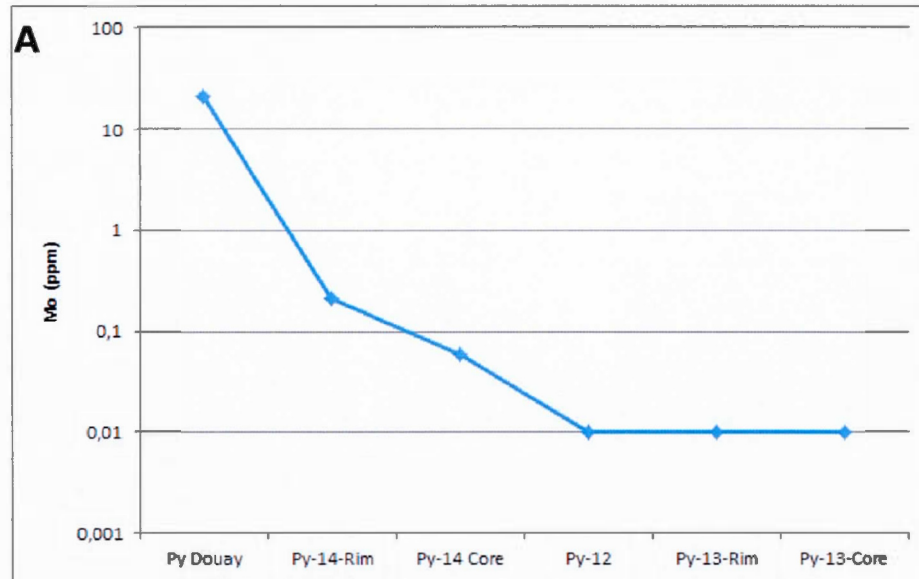


Figure 6.3: Mean content of Mo on (a) four sedimentary-digenetic pyrites displaying the same pattern than those of sedimentary origin, in the Astoria and Douay sectors and (b) sedimentary pyrites from the Neoproterozoic Khomolkho Formation, Siberia, from Large et al. (2007). These pyrites are classified as of syngenetic, diagenetic or metamorphic origin (Large et al., 2014). The framboïdal pyrite of Douay seems to display the same pattern than pyrites with a syngenetic origin, with Mo content higher than 10 ppm, while the framboïdal pyrites of the Astoria sector display the same pattern than those of metamorphic origin, with Mo content near 10 ppb.

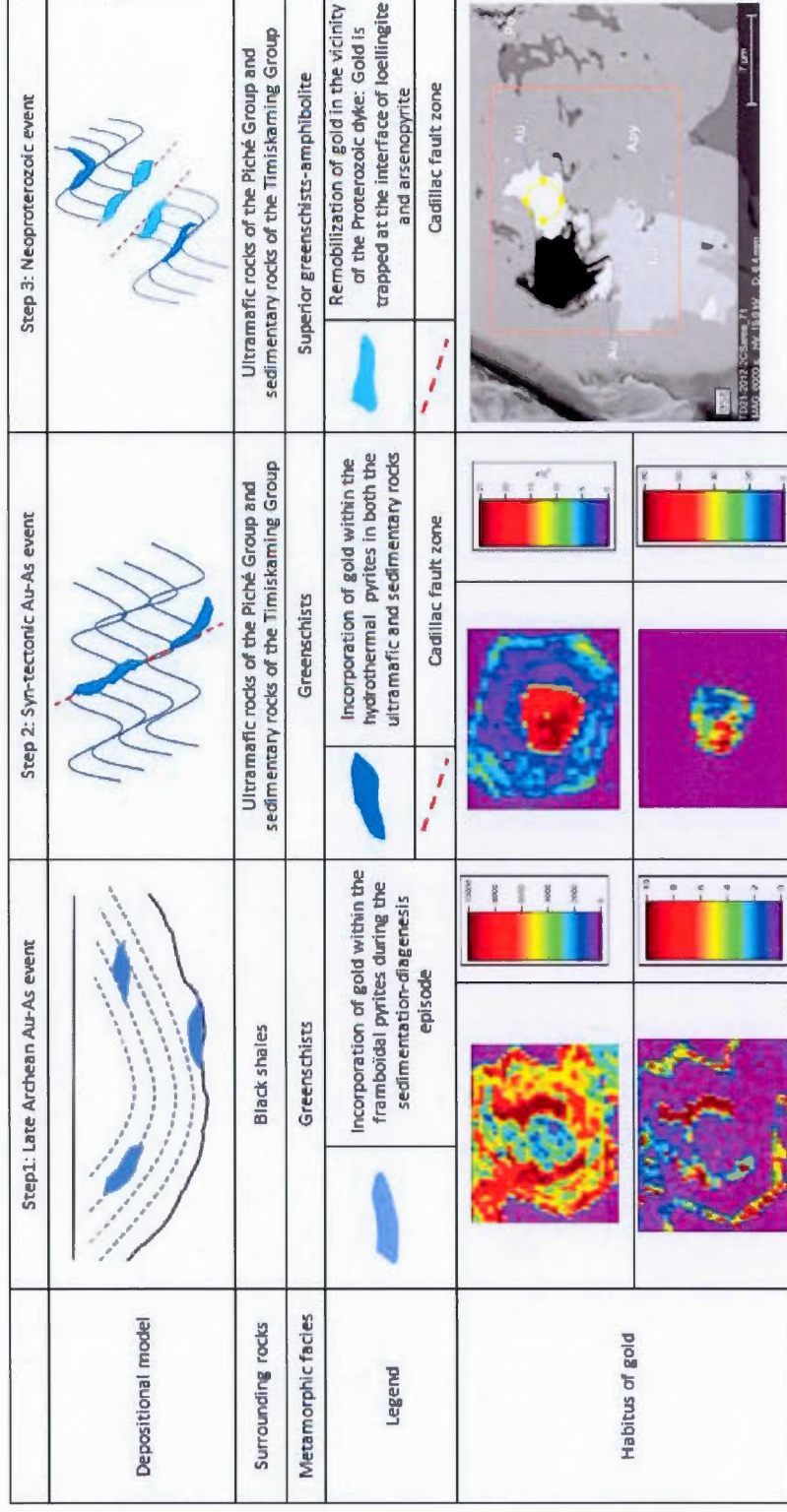


Figure 7.1: Proposed depositional model based on field evidence as well as macroscopic, microscopic and nanoscopic observations. Three episodes of gold mineralization have been observed: 1) an early gold mineralization stage, older than 2.67 Ga., characterized by the auriferous framboidal pyrites in the black shales; 2) a syn-tectonic auriferous event, posterior to the sediments deposition, characterized by the presence of auriferous hydrothermal pyrites in both the ultramafic rocks of the Piché Group and the footwall sediments of the Timiskaming Group and 3) a late gold remobilizing event, contemporaneous with the Proterozoic dyke intrusion, with particles of gold trapped at the interface between arsenopyrite and loellingite.

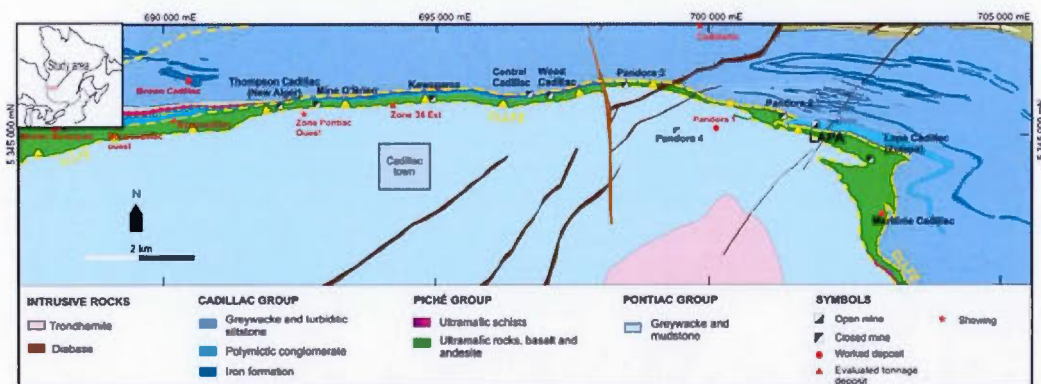


Figure 7.2: Location and geology of the Lapa mine, from Simard (2013)

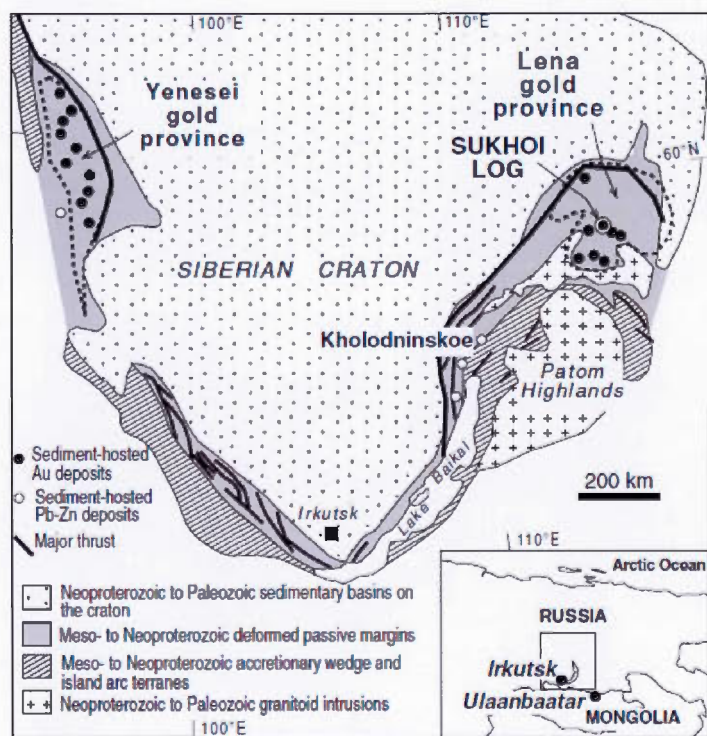


Figure 7.3: Location of the Sukhoi Log deposit, in the Lena gold province of the Siberian Craton, 850 km of Irkutsk, from Large *et al.* (2007).

Table 3.1 : Details concerning the thirteen thin sections realized in the ultramafic rocks as well as the skarns of the Piché Group along the Augmitto-Astoria corridor.

Piché Group - Ultramafic rocks

Drilling	Depth of the drill (m)		Thin section	Sector	Group	Lithology	Gold grade
07-S-422	94.6	95.1	Yrb1	Augmitto	Piché	Ultramafic	8.5 g/t
08-GA-461	310.1	310.2	Yrb12-01	Lac Gamble	Piché	Ultramafic	8.74 g/t
10-CI-534	476.2	476.3	Yrb12-03	Cinderella	Piché	Ultramafic	1.06 g/t
10-CI-535	511.7	511.8	Yrb12-06	Cinderella	Piché	Ultramafic	43.7 g/t
07-S-442	27.7	27.9	Yrb12-07	Augmitto	Piché	Ultramafic	15.39 g/t
07-S-422	133.8	134	Yrb12-09	Augmitto	Piché	Ultramafic	0 g/t
As-95-10010	132.84	133.01	Yrb12-11	Astoria	Piché	Ultramafic	11.3 g/t
As-95-10010	148.26	148.36	Yrb12-12	Astoria	Piché	Ultramafic	25.1 g/t
06-S-405	429.56	429.66	M1CC01	Augmitto	Piché	Ultramafic	0 g/t
06-S-405	435.4	435.58	V13St022	Augmitto	Piché	Ultramafic	0 g/t
05-S-397	296.15	296.35	V13St011	Cinderella	Piché	Ultramafic	0 g/t

Piché Group - Skarns

AS-95-10030	396.6	396.82	Sk10030	Astoria	Unknown	Skarn	0.03 g/t
AS-95-10027	104.06	103.86	SK10027	Astoria	Unknown	Skarn	3.36 g/t

Table 3.2 : Geochemical analyses realized on both mineralized and sterile skarns of the Astoria sector. Elements such as Au, As and Ba are enriched in the mineralized skarn while Zr, Sr, V, Cu, Zn and Sb are enriched in the sterile skarn.

Geochemical elements	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	Ni	Sc	LOI	Sum
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	Ppm	Ppm	%	%
Mineralized skarn	46.4	5.77	7.88	24.4	7.8	0.36	0.16	0.2	0	0.11	0.162	665	12	6.4	99.6
Sterile skarn	43.7	6.76	10.74	21.3	9.8	0.14	0.03	0.4	0	0.2	0.305	985	24	6.2	99.6

Geochemical elements	Ba	Be	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W
Unit	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm
Mineralized skarn	20	0	64.8	0.4	4.2	0.3	0.2	3.4	0	46.7	0	0	0	78	1.7
Sterile skarn	4	0	81.6	0	5.4	0.5	0.6	0.3	0	94.3	0	0	0	129	1.7

Geochemical elements	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb
Unit	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm
Mineralized skarn	7	5.2	0.6	1.3	0.2	1.1	0.31	0.1	0.7	0.13	1.13	0.22	0.7	0.1	0.65
Sterile skarn	17.6	8	0.9	2.2	0.4	2.2	0.56	0.3	1.05	0.21	1.41	0.31	1.1	0.1	0.97

Geochemical elements	Lu	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	Hg	Tl	Se
Unit	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm	Ppm
Mineralized skarn	0.08	0	2.7	1.2	12	708	1549	0	1	0.3	0	0.29	0	0	0
Sterile skarn	0.12	0	159.8	4.3	66	892	905.2	0.2	4.7	0	0	0.02	0	0	0

Table 4.1 : Details concerning the twenty thin sections realized in the footwall and hanging wall sediments as well as in the black shales from the Timiskaming Group along the Augmitto-Astoria corridor. Due to a problem of geochemical analyses, the gold grade of the sample HWZ01 is unknown.

Footwall sediments

Drilling	Section	Depth of the drill (m)		Thin section	Sector	Group	Lithology	Gold grade
09-CI-516	6800	638.05	638.75	Yrb2a	Cinderella	Timiskaming	FWZ sediments	0.8 g/t
09-CI-516	7000	638.05	638.75	Yrb2b	Cinderella	Timiskaming	FWZ sediments	
10-CI-519A	5950	537.85	538.85	Yrb3	Cinderella	Timiskaming	FWZ sediments	11 g/t
05-S-401	5292	475.88	476.39	Yrb4a	Augmitto	Timiskaming	FWZ sediments	4 g/t
05-S-401	5292	475.88	476.39	Yrb4b	Augmitto	Timiskaming	FWZ sediments	
07-S-425	5350	70.7	71.2	Yrb6	Augmitto	Timiskaming	FWZ sediments	2.5 g/t
As-95-10030	8850	300	305.87	Yrb8	Astoria	Timiskaming	FWZ sediments	8.64 g/t
As-95-10013	9110	141.5	143.5	Yrb9	Astoria	Timiskaming	FWZ sediments	26.5 g/t
As-95-10013	9110	141.5	143.5	Yrb10	Astoria	Timiskaming	FWZ sediments	
08-GA-487	8000	133.5	133.55	Yrb12-02	Lac Gamble	Timiskaming	FWZ sediments	5.71 g/t
As-95-9041	9200	44.35	44.5	Yrb12-13	Astoria	Timiskaming	FWZ sediments	20.1 g/t
10-CI-519A	5950	580.15	580.25	FWZ01	Cinderella	Timiskaming	FWZ sediments	0.02 g/t

Hanging wall sediments

Drilling	Section	Depth of the drill (m)		Thin section	Sector	Group	Lithology	Gold grade
10-CI-535	5800	482	482.15	Yrb12-04	Cinderella	Timiskaming	HWZ sediments	1.62 g/t
11-AUG-547	5305	537.14	537.26	Yrb12-10	Augmitto	Timiskaming	HWZ sediments	8 g/t
08-GA-462	8025	157.8	158	HWZ01	Lac Gamble	Timiskaming	HWZ sediments	Unknown
08-GA-462	8025	191	191.5	Yrb5	Lac Gamble	Timiskaming	HWZ sediments	5 g/t

Black shales

Drilling	Section	Depth of the drill (m)		Thin section	Sector	Group	Lithology	Gold grade
10-As-526A	8600	834,49	834,69	S4f01a	Astoria	Timiskaming	Black shales	Unknown
10-As-526A	8600	834,49	834,69	S4f01b	Astoria	Timiskaming	Black shales	Unknown
10-As-526A	8600	834,49	834,69	S4f01c	Astoria	Timiskaming	Black shales	Unknown
10-As-526A	8600	834,49	834,69	S4f01d	Astoria	Timiskaming	Black shales	Unknown

Table 4.2 : Chemical elements either present within the structure and/or as inclusion (◻) or only as inclusion (∧) in the pyrites from the black shales and shear fracture in the footwall sediments. These results have been obtained by studying LA-ICP-MS analyses and mapping.


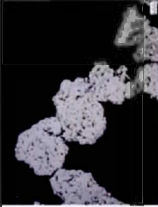

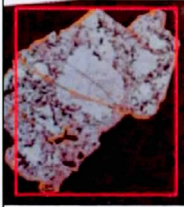
Pyrites	Structure and texture	Size	Location	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Sn	Sb	Te	Au	Hg	Tl	Pb	Bi
Py-12		30 x 180 microns	Black shales	◻	∧	◻	◻	∧	∧	∧	∧	◻	∧	∧	∧		∧	∧	◻	∧	∧	◻	∧
Py-13		300 x 400 microns	Black shales	◻	∧	◻	◻	◻	◻	∧	∧	◻	∧	∧	∧		∧	∧	∧	∧	∧	∧	∧
Py-14		30 x 150 microns	Black shales	◻	∧	◻	◻	∧	◻	◻	∧	◻	◻	∧	∧		∧	∧	∧	∧	∧	∧	∧
Py-4		600 x 600 microns	Shear fracture in the footwall sediments	◻	∧	◻	◻	∧	∧	◻	◻	◻	◻	◻	◻		◻	∧	∧	∧	∧	◻	◻

Table 4.3 : Chemical elements either present within the structure or as inclusion (□) or only as inclusion (∧). These results have been obtained by studying LA-ICP-MS analyses and mapping.


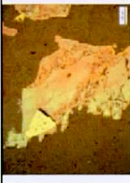

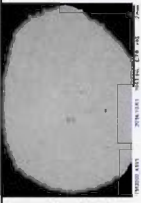
Pyrites	Structure and texture	Size	Location	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Sn	Sb	Te	Au	Hg	Tl	Pb	Bi
Py102		300 x 300 microns	Shear fracture in the footwall sediments	□	∧	□	□	∧	∧	□	∧	□	□	□	∧	∧	∧	∧	∧	∧	∧	□	∧
Py3-2				□	∧	□	□	∧	□	□	∧	□	□	□	□	∧	□	∧	□	∧	∧	□	□
Py-3		1 x 2 mm	Shear fracture in the footwall sediments	□	∧	□	□	∧	∧	□	∧	□	□	□	□	∧	∧	∧	□	∧	∧	□	□
Py-11		100 x 200 microns	Shear fracture in the footwall sediments	□	∧	□	□	□	□	□	∧	□	□	∧	∧	∧	□	∧	∧	∧	∧	□	□
Py-Douay		4 x 4 mm	Black shales	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	∧	□	□	□	□	□

Table 5.1 : Details concerning the three thin sections realized in the albitite dykes along the Augmitto-Astoria corridor.

Drilling	Section	Depth of the drill (m)		Thin section	Sector	Group	Lithology	Gold grade (g/t)
11-CI-558	6317	321	322	Yrb7	Cinderella	Archean intrusive rocks	Albitite dyke	1.8 g/t
10-CI-535	5800	507.13	507.23	Yrb12-05	Cinderella	Archean intrusive rocks	Albitite dyke	3.82 g/t
07-S-442	5305	29.5	29.74	Yrb12-08	Augmitto	Archean intrusive rocks	Albitite dyke	4.9 g/t

Table 5.2 : Geochemical analyses realized on the albitite dykes in comparison to the ultramafic rocks: the sample Yrb12-05 has been described as an ultramafic rock while it contains high values of both TiO₂ and P₂O₅ similar to those of the albitite dyke.

Thin section	Lithology	Location	Geochemical elements										
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃
Yrb12-03	Ultramafic rock	Cinderella	36.46	4.67	6.51	15.45	10.19	0.33	0.12	0.2	0.01	0.14	0.189
Yrb12-05	Ultramafic rock	Cinderella	49.15	8.27	5.77	7.08	6.99	3.67	0.03	0.49	0.67	0.1	0.058
Yrb12-06	Ultramafic rock	Cinderella	63.95	4.33	6.64	7.71	4.63	0.24	0	0.15	0	0.11	0.163
Yrb12-08	Albitite dyke	Augmitto	60.91	10.89	4.61	3.87	4.63	3.99	0.09	0.36	0.42	0.06	0.02
Yrb12-11	Ultramafic rock	Astoria	42.14	8.43	11.35	22.28	7.86	0.21	0.34	0.34	0	0.18	0.372

Table 7.1: Results of the analyses realized on the pyrites: 1) pyrites with a chemical signature similar to those of diagenetic-metamorphic origin come from the black shales of the Astoria sector; 2) pyrites with a chemical signature similar to those of hydrothermal origin come from both the footwall sediments and the ultramafic rocks of the Cinderella sector; 3) pyrites with a chemical signature similar to those with a diagenetic origin come from the footwall sediments of the Cinderella sector and 4) pyrites with a chemical signature similar to those of syngenetic origin come from the black shales of the Douay sector (Large *et al.*, 2014).

Pyrites	Sector	Supposed origin of the pyrite	Surrounding rocks	Drill core	Depth
Py-12	Astoria	Diagenetic-Metamorphic	Black shales	10 AS 526A	834.5
Py-13	Astoria	Diagenetic-Metamorphic	Black shales	10 AS 526A	834.5
Py-14	Astoria	Diagenetic-Metamorphic	Black shales	10 AS 526A	834.5
Py-4	Cinderella	Hydrothermal	Footwall sediments	09-CI-516	638.4
Py102	Cinderella	Hydrothermal	Footwall sediments	09-CI-516	638.4
Py3-2	Cinderella	Hydrothermal	Footwall sediments	09-CI-516	638.4
Py-3	Cinderella	Hydrothermal	Footwall sediments	09-CI-516	638.4
Py-11	Cinderella	Hydrothermal	Footwall sediments	09-CI-516	638.4
Py-Hydro	Cinderella	Hydrothermal	Ultramafic rocks	10-CI-534	482
Py-Douay	Douay	Syngenetic	Black shales	DO-07-30	82.5

Table 7.2: Comparisons between the Augmitto-Astoria sectors with several gold deposits: the Lapa mine, in Abitibi, Canada, and the Sukhoi Log deposit, in Siberia. The lapa mine is located in the mafic and ultramafic rocks of the Piché Group while the Sukoi Log deposit is located in the black shales.

	Timiskaming Group	Sukhoi Log, Siberia (Large <i>et al.</i> , 2007)	Piché Group	Lapa mine, Canada (Simard <i>et al.</i> , 2013)	Proximity of Proterozoic dykes
Host rocks	Black shales, footwall and hanging wall sediments	Black shales	Mafic and ultramafic rocks	Mafic and ultramafic rocks of the Piché Group	Ultramafic and sedimentary rocks
Economic value	Gold mean values in the richest gold-bearing sedimentary pyrites: from 0.43 to 2.68 ppm	Gold mean values in the richest gold-bearing sedimentary pyrites: from 0.44 to 12.10 ppm	Gold mean value in the hydrothermal pyrite: around 18 ppm in the core	Gold mean values in the arsenopyrite: from 602 to 1 825 ppm.	
Sulphides	Pyrite, chalcopyrite, arsenopyrite, pyrrhotite, galena	Pyrite, arsenopyrite, pyrrhotite, sphalerite, chalcopyrite, galena	Arsenopyrite, pyrrhotite, chalcopyrite, pyrite, loellingite (FeAs ₂), nickeline, skutterudite (FeNiAs ₃), gersdorffite (NiAsS), pentlandite, nickeliferous pyrite, millerite (NiS), siegenite (Ni ₃ S ₄), galena.	Arsenopyrite, pyrrhotite, pyrite with minor chalcopyrite, stibnite (Sb ₂ S ₃), aurostibnite (AuSbS), gudmundite (FeSbS), sphalerite and pentlandite	Arsenopyrite, gersdorffite, nickeline, pyrite, pyrrhotite
Gold	Invisible	Within arsenopyrite, hydrothermal and framboidal structure	Within hydrothermal pyrite structure	Within arsenopyrite structure	No data
	Visible	Filling the arsenopyrite fractures, associated with pyrites, free in altered rocks, at the interface of loellingite and arsenopyrite, in contact with chalcopyrite and pyrite	At the interface between loellingite and arsenopyrite in the Astoria sector, and associated with arsenopyrite as well as free gold in altered rocks	Auriferous arsenopyrite-pyrrhotite \pm pyrite in altered wall rocks	At the interface of arsenopyrite and loellingite
Alteration	Silicification, sericitisation, carbonatation, sulphidation	Fe-Mg carbonate and siderite porphyroblasts	Silicification, sericitisation, carbonatation, sulphidation	Chlorite-tourmaline, chlorite-carbonates-talc \pm biotite, biotite-quartz-sericite \pm carbonates	No data

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude a été réalisée sur une portion de la faille Cadillac, dans quatre secteurs : Augmitto, Cinderella, Lac Gamble et Astoria. Les objectifs de ce projet de recherche étaient triples : 1) définir la minéralogie détaillée des différents habitus de l'or et de ses associations; 2) comprendre le rôle du dyke protérozoïque sur la minéralisation dans le secteur Astoria et 3) déterminer la chronologie de mise en place des minéralisations en or le long de ce corridor de déformation qu'est la FCLL. Grâce à des études de terrain, des analyses géochimiques ainsi que des observations fines sur 36 lames minces, des avancées significatives ont pu être réalisées à la fois dans la compréhension du secteur d'étude, mais aussi à plus grande échelle.

Concernant le premier objectif, l'or a été observé sous forme visible et invisible. L'or est invisible sous forme d'inclusions et dans la structure de sulfures tels que la pyrite et l'arsénopyrite. L'or visible est piégé dans les fractures de l'arsénopyrite et est associé à la pyrite ou libre dans la matrice. Au sein des roches ultramafiques du Groupe du Piché et des sédiments du Groupe du Témiskaming, l'or se trouve également sous forme pépitique dans les veines de quartz-carbonates.

Concernant le deuxième objectif, les études minéralogiques, réalisées dans le secteur Astoria, ont révélé que le dyke protérozoïque était responsable d'une auréole métamorphique à la limite entre le faciès des schistes verts supérieurs et celui des amphibolites. Les échantillons localisés à proximité de ce dyke contiennent des minéraux caractéristiques tels que la biotite amphibolisée, le glaucophane, l'épidote, l'actinolite et la loellingite. Dans ce secteur, l'or se trouve piégé entre la loellingite et l'arsénopyrite ainsi que sous forme d'or libre.

La présence de pyrites hydrothermales et d'arsénopyrites aurifères, observées à la fois dans les roches ultramafiques et sédimentaires, suppose l'existence d'un second événement minéralisateur aurifère, cette fois-ci syn-tectonique, daté aux alentours de 2,65 Ga (Jackson et Cruden, 1995). De la même manière que précédemment, de l'or invisible aurait été

intégré dans la structure de ces sulfures lors d'une phase métamorphique prograde. Dans les roches ultramafiques du Groupe du Piché, la présence d'or invisible uniquement au cœur de la pyrite hydrothermale suppose une intégration précoce de l'or, durant les premiers stades de cristallisation de la pyrite. Au sein des sédiments au mur de la zone de faille du Groupe du Témiskaming, l'or invisible se trouve dans les pyrites hydrothermales, au niveau des textures de recristallisation tardives, qui peuvent localement prendre un aspect dendritique. En refroidissant, l'or invisible aurait été expulsé de la structure de ces sulfures pour précipiter sous forme d'or visible, dans les pièges structuraux de l'arsénopyrite et de la pyrite arsénifère (Bigot *et al.*, 2012). Les particules d'or visible ont, par la suite, été probablement remobilisées pour former des amas dans les veines de quartz-carbonates, au sein des roches ultramafiques et sédimentaires (Bonnemaison et Marcoux, 1990).

Enfin, en ce qui concerne le dernier objectif, les minéralisations aurifères pourraient provenir d'une suite de trois épisodes minéralisateurs : 1) un épisode aurifère précoce, tardi-archéen, marqué par la présence d'or invisible dans les pyrites sédimentaires ou diagénétiques au sein des shales noir rapportés à la sédimentation d'âge Timiskaming, 2) une phase syn-tectonique, inférieure à 2,65 Ga, marquée par des dépôts d'or sous forme invisible dans les pyrites hydrothermales au sein des roches ultramafiques du Groupe du Piché et sédimentaires du Groupe du Témiskaming et 3) une phase aurifère tardive, associée à la mise en place du dyke protérozoïque et donc mise en place au protérozoïque supérieur.

La mise en place du dyke d'âge protérozoïque traversant le secteur Astoria s'est accompagnée d'un métamorphisme de contact qui a pu remobiliser l'or : l'or présent dans la structure de l'arsénopyrite et/ou de la pyrite aurait pu être de nouveau extrait de la structure de ces sulfures pour former de fines particules d'or piégées à l'interface entre l'arsénopyrite et la loellingite (Deol *et al.*, 2012). Cette remobilisation aurifère tardi-protérozoïque pourrait expliquer les faibles teneurs en or enregistrées dans la structure des sulfures le long du segment Augmitto-Astoria.

Ce modèle de minéralisation aurifère montre de grandes ressemblances avec le modèle de Bonnemaïson et Marcoux (1990), concernant les minéralisations aurifères le long des grandes zones de cisaillement : 1) un épisode précoce d'or invisible, présent dans la structure de certains sulfures, 2) un stade intermédiaire d'or finement cristallisé, associé à l'arsénopyrite et 3) un stade tardif de remobilisation, avec la formation d'or pépitique. La concentration de l'or dans la faille Cadillac au sud de Rouyn-Noranda, résulte donc de la combinaison d'évènements tardi-archéens, avec les shales noirs, et protérozoïque avec la remobilisation probable par le dyke d'âge protérozoïque.

Références

- Bigot, L., & Jébrak, M. 2015. «Gold Mineralization at the Syenite-Hosted Beattie Gold Deposit, Duparquet, Neoproterozoic Abitibi Belt, Canada». *Economic Geology*, 110(2), 315-335.
- Bonnemaïson, M., & Marcoux, E. 1990. «Auriferous mineralization in some shear-zones: A three-stage model of metallogenesis». *Mineralium Deposita*, 25(2), 96-104.
- Jackson, S. L., & Cruden, A. R. 1995. «Formation of the Abitibi greenstone belt by arc-trench migration». *Geology*, 23(5), 471-474.

APPENDICE A

SECTIONS VERTICALES POUR LA LOCALISATION DES ECHANTILLONS

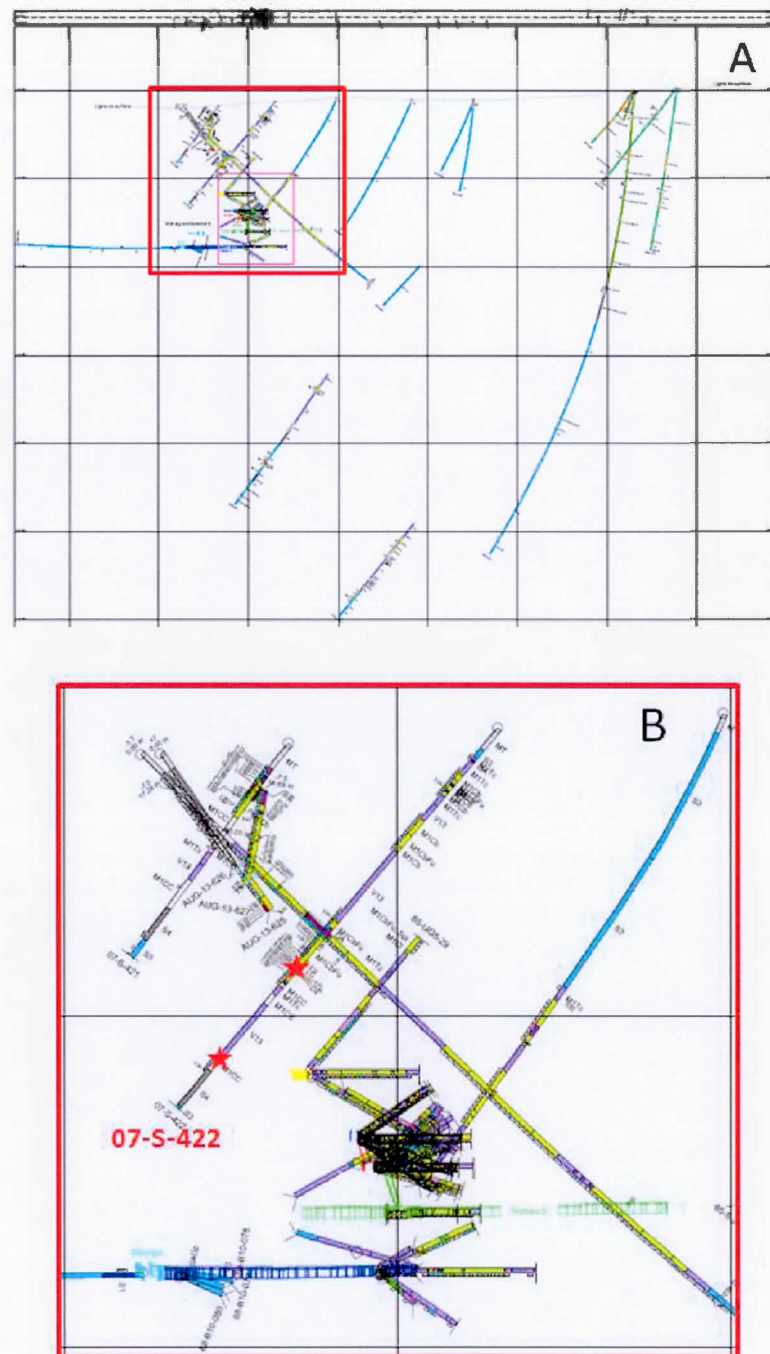


Figure 1: (a) Section verticale pour le secteur Augmitto et (b) localisation précise de deux échantillons dans les roches ultramafiques du Groupe du Piché, Yrb1 and Yrb12-09. Document fourni par la compagnie.

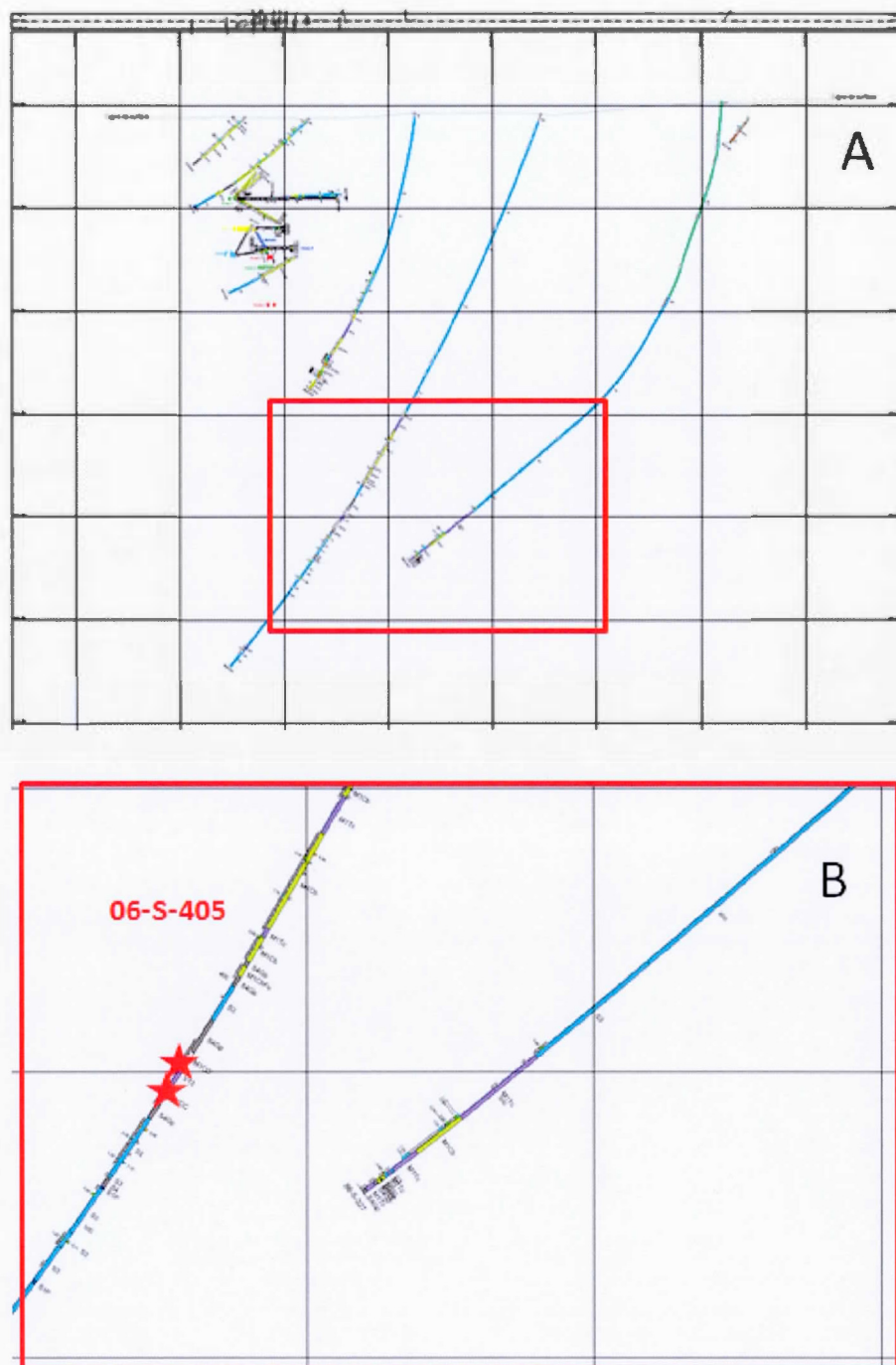


Figure 2 : (a) Section verticale pour le secteur Augmitto et (b) localisation précise de deux échantillons dans les roches ultramafiques du Groupe du Piché, M1CC01 et V13St022. Document fourni par la compagnie.

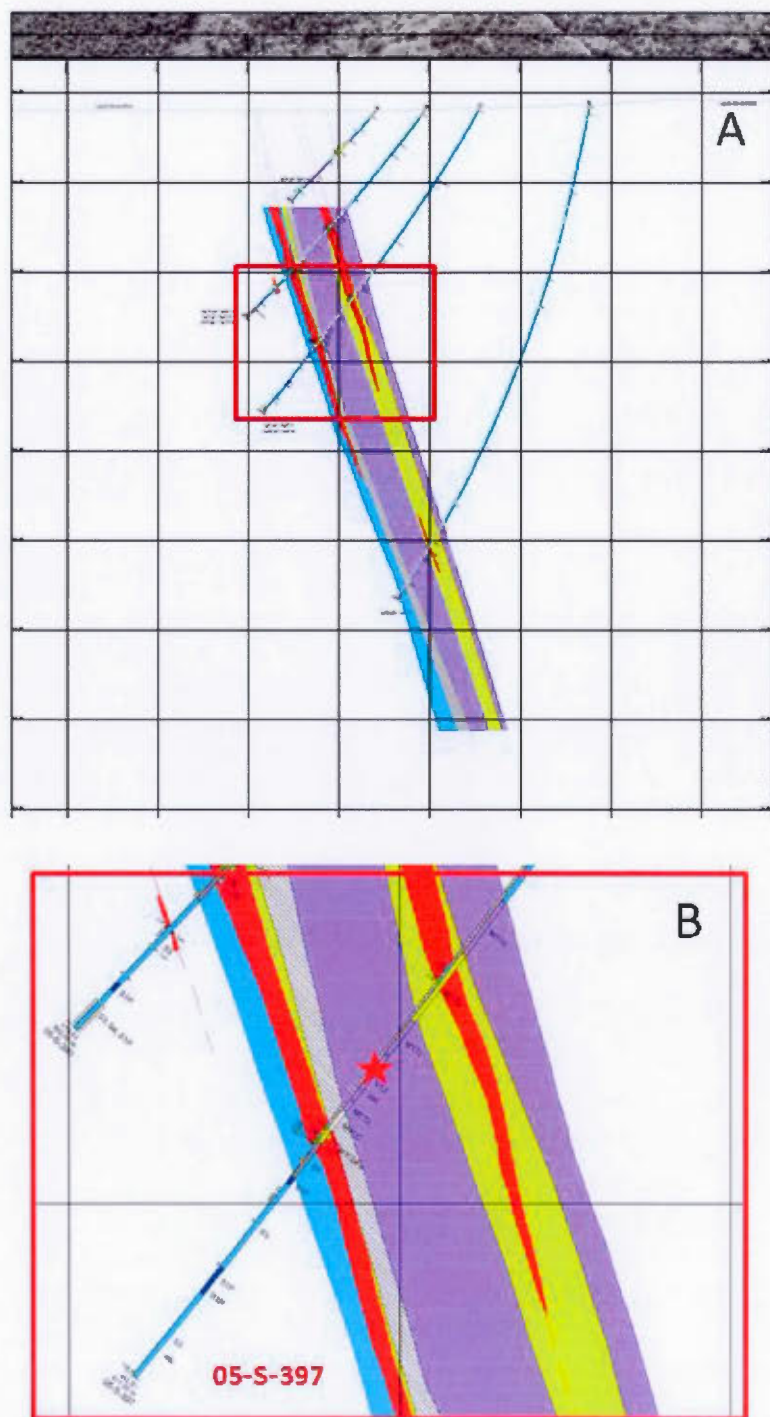


Figure 5 : (a) Section verticale pour le secteur Cinderella et (b) localisation précise d'un échantillon dans les roches ultramafiques du Groupe du Piché, V13St011. Document fourni par la compagnie.

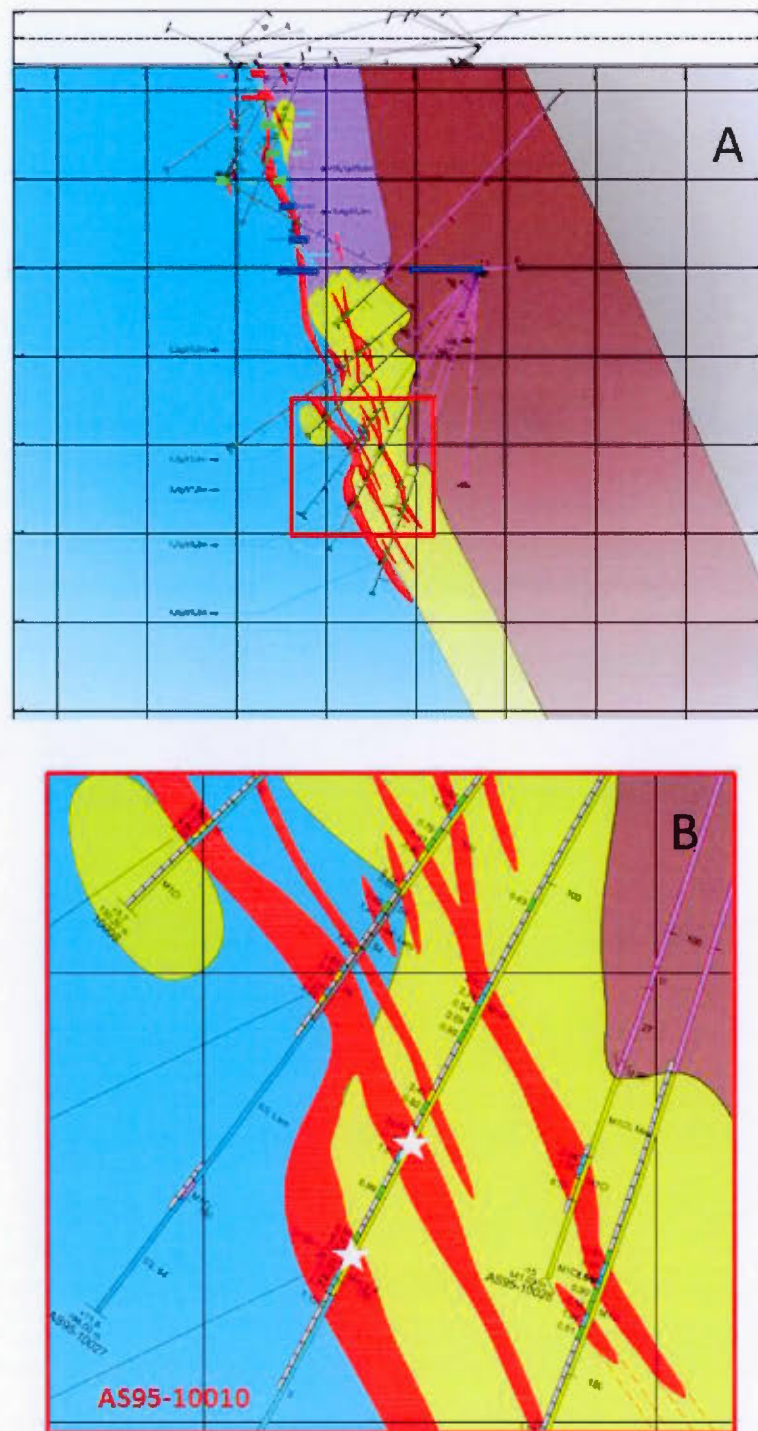


Figure 7 : (a) Section verticale pour le secteur Astoria et (b) localisation précise de deux échantillons dans les roches ultramafiques du Groupe du Piché, Yrb12-11 et Yrb12-12. Document fourni par la compagnie.

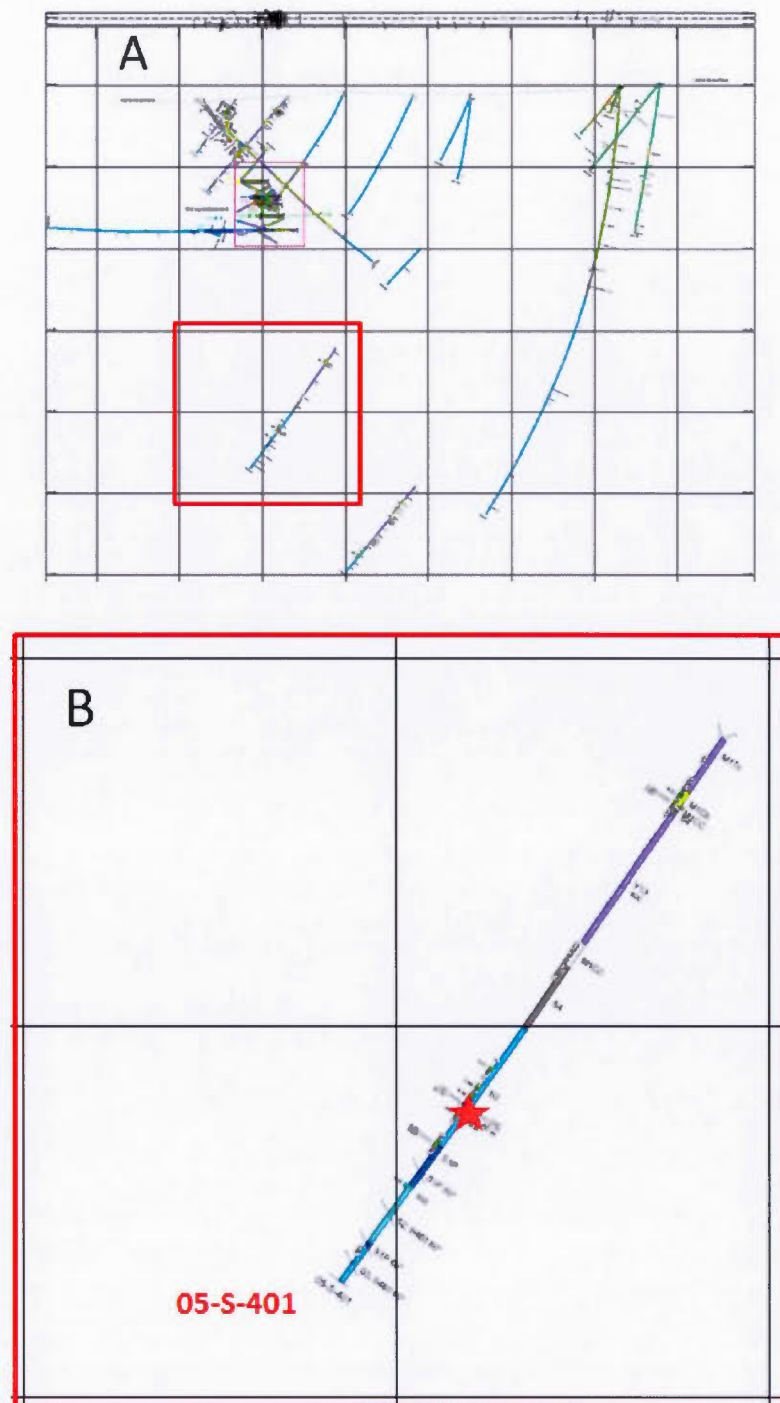


Figure 8 : (a) Section verticale pour le secteur Augmitto et (b) localisation précise d'un échantillon dans les sédiments du mur de la zone de faille, Yrb4. Document fourni par la compagnie.

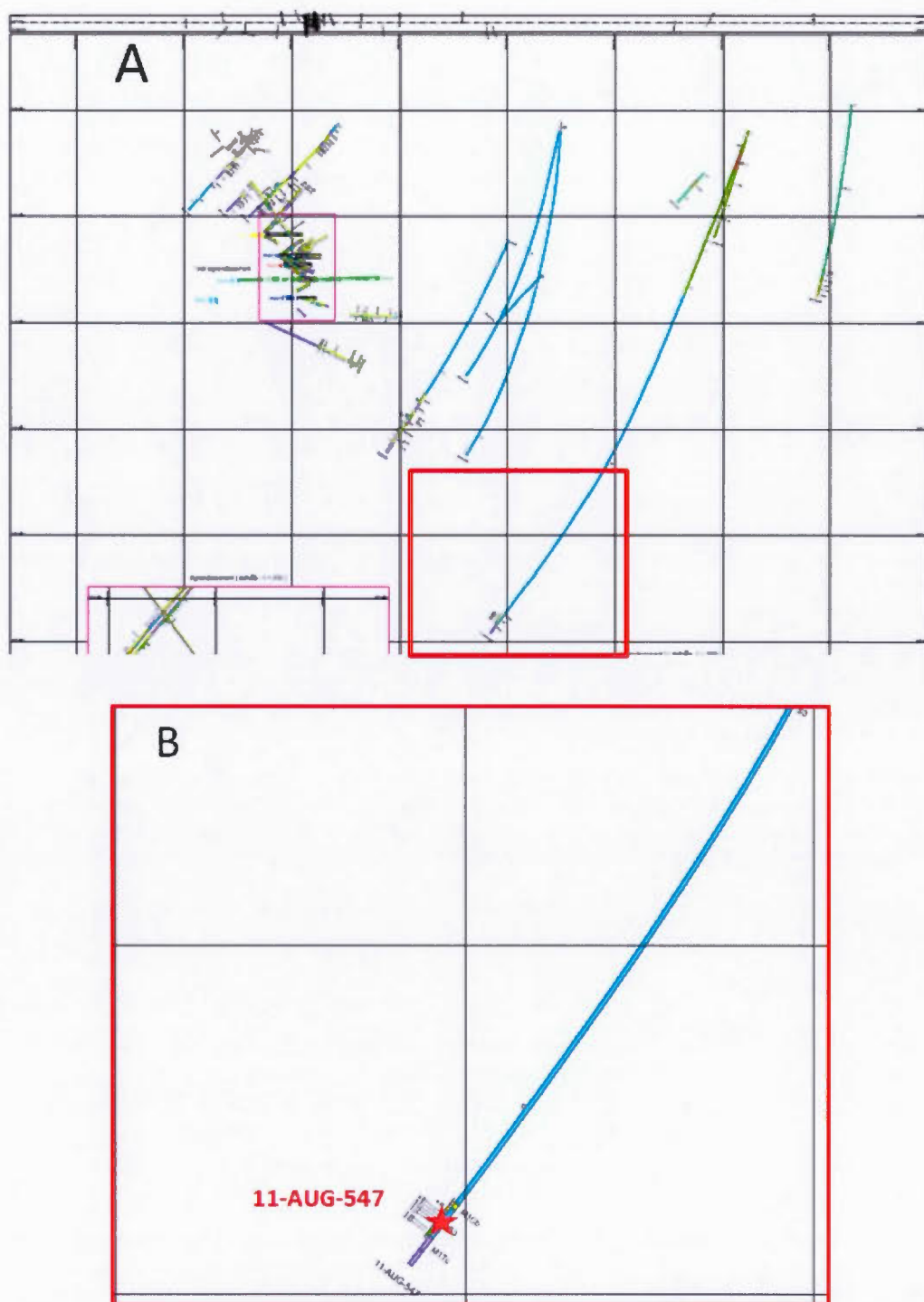


Figure 9 : (a) Section verticale pour le secteur Augmitto et (b) localisation précise d'un échantillon dans les sédiments du toit de la zone de faille, Yrb12-10. Document fourni par la compagnie.

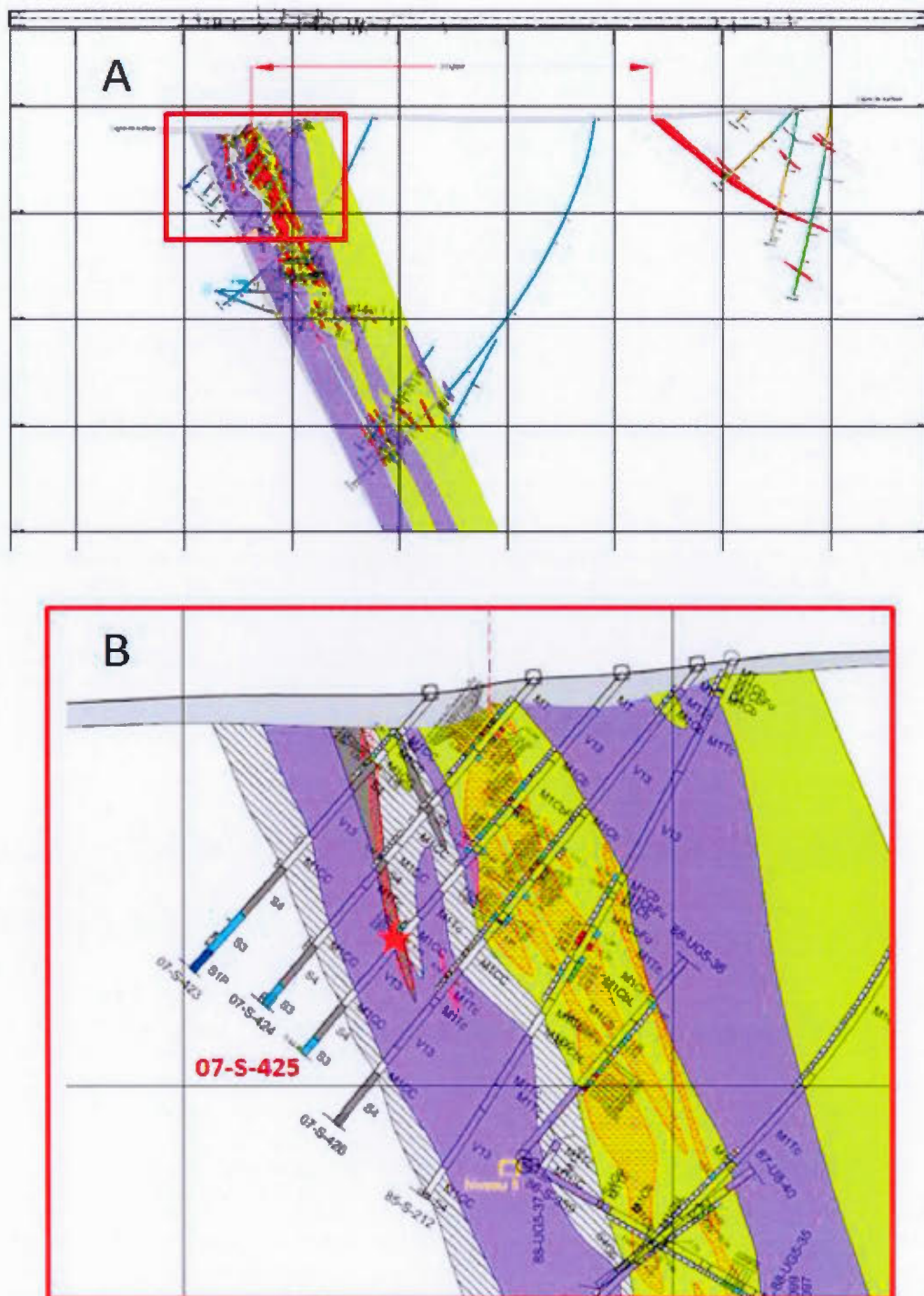


Figure 10 : (a) Section verticale pour le secteur Augmitto et (b) localisation précise d'un échantillon dans les sédiments du mur de la zone de faille, Yrb6. Document fourni par la compagnie.

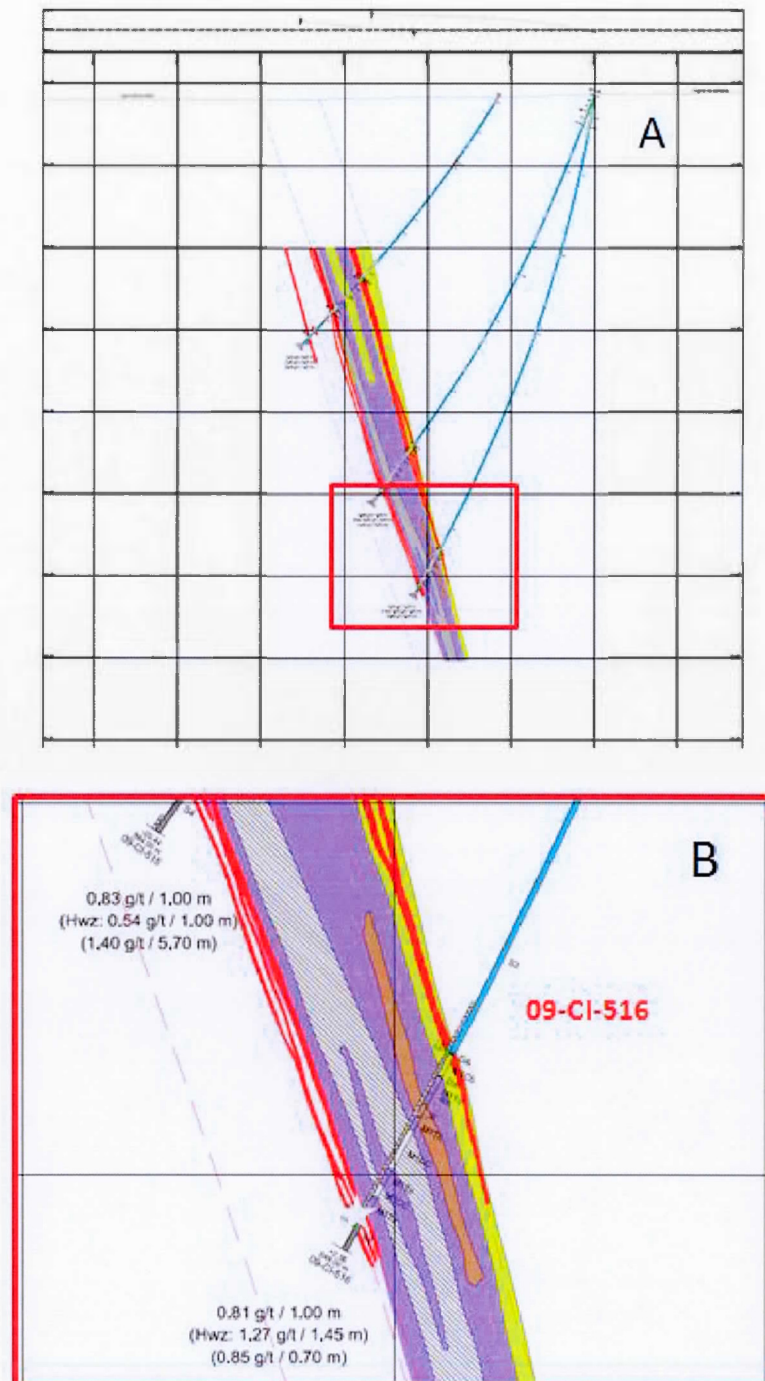


Figure 12 : (a) Section verticale pour le secteur Cinderella et (b) localisation précise d'un échantillon dans les sédiments du mur de la zone de faille, Yrb2. Document fourni par la compagnie.

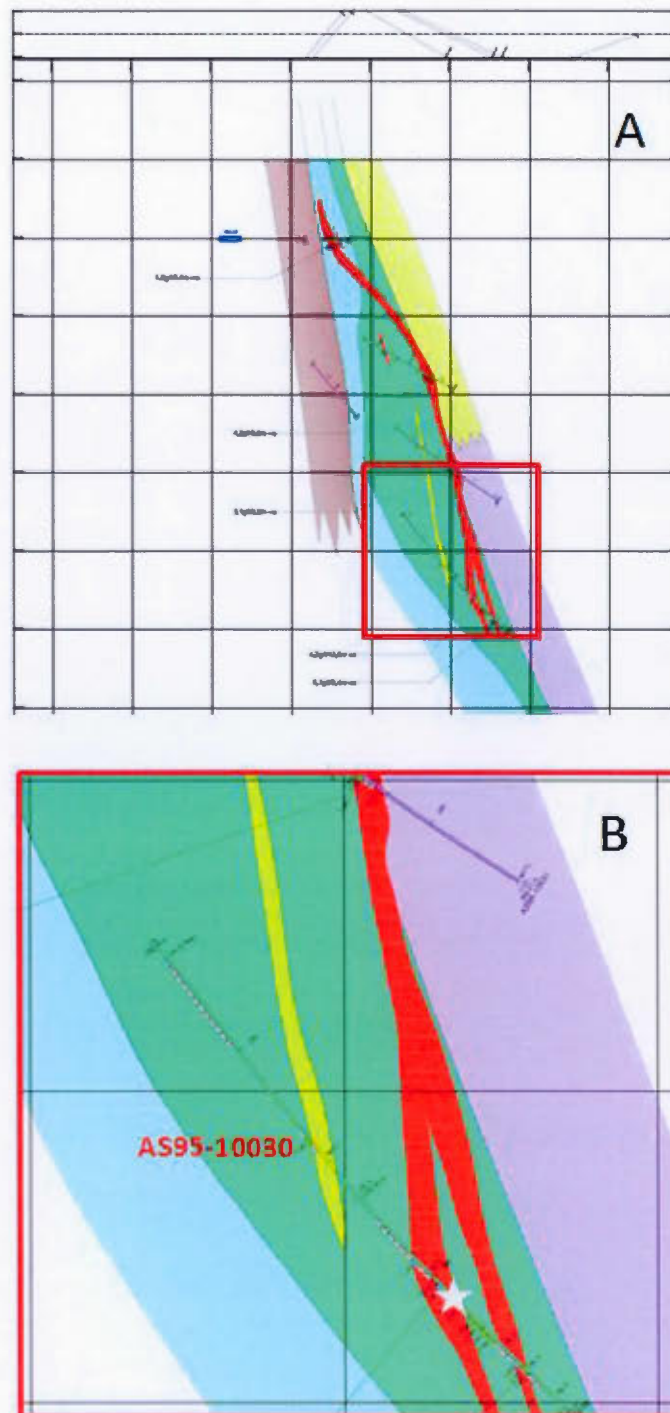


Figure 15 : (a) Section verticale pour le secteur Astoria et (b) localisation précise d'un échantillon dans les sédiments du mur de la zone de faille, Yrb8. Document fourni par la compagnie.

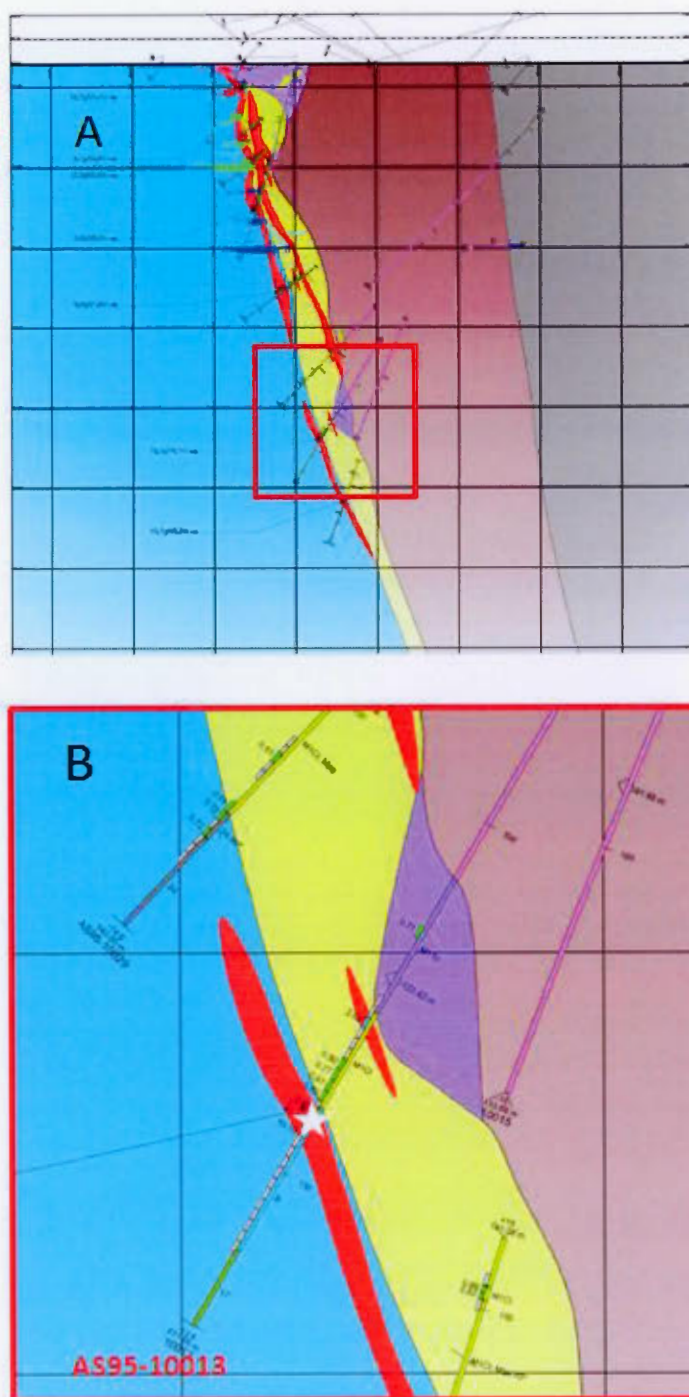


Figure 16 : (a) Section verticale pour le secteur Astoria et (b) localisation précise de deux échantillon dans les sédiments du mur de la zone de faille, Yrb9 et Yrb10. Document fourni par la compagnie.

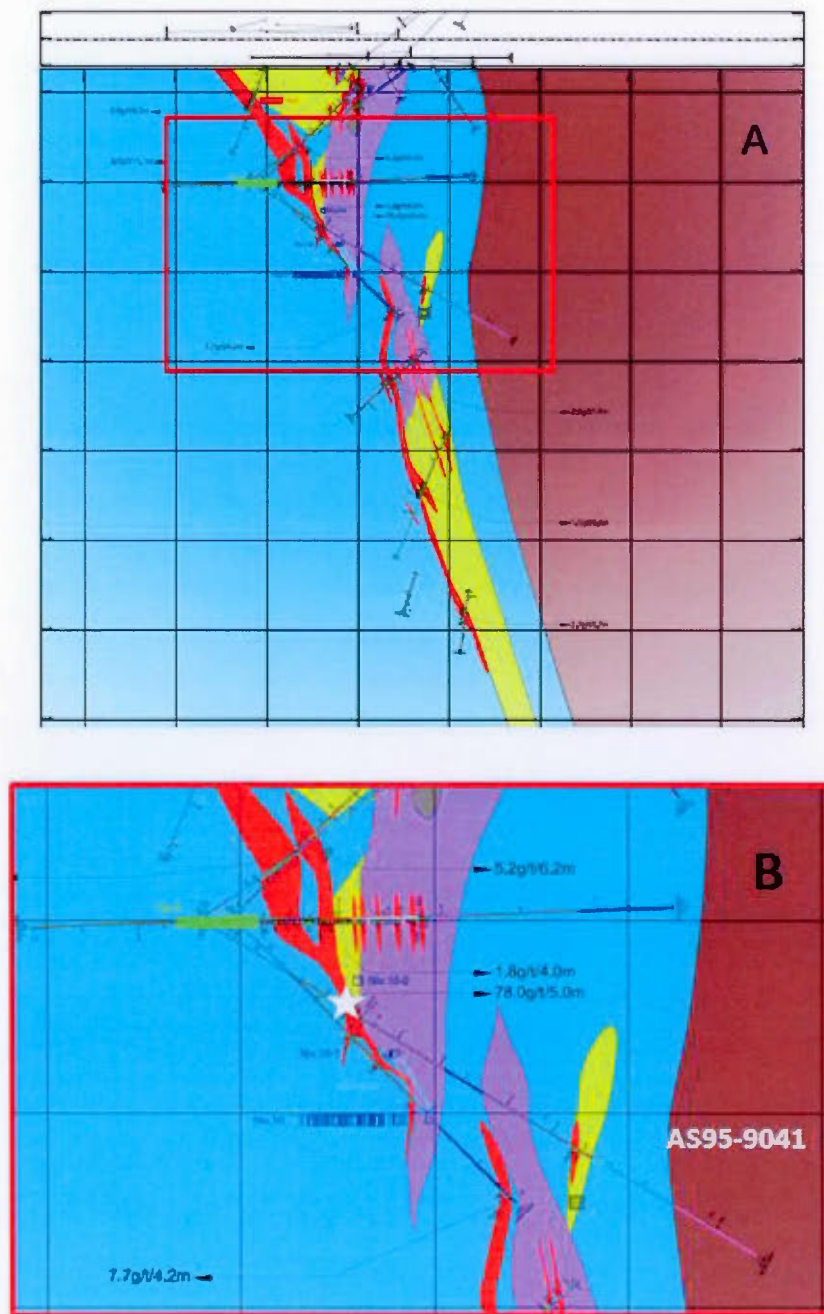


Figure 17 : (a) Section verticale pour le secteur Astoria et (b) localisation précise d'un échantillon dans les sédiments du mur de la zone de faille, Yrb12-13. Document fourni par la compagnie.

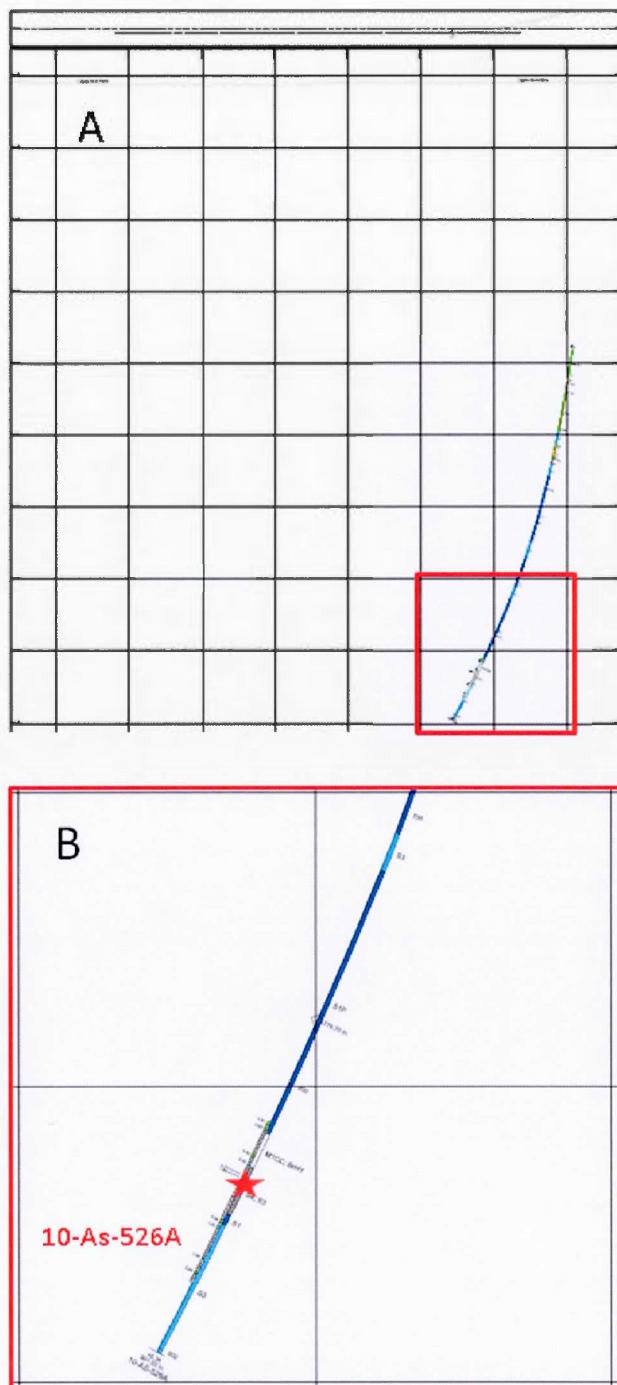


Figure 18 : (a) Section verticale pour le secteur Astoria et (b) localisation précise d'un échantillon dans les shales noires, S4f01a, S4f01b, S4f01c et S4f01d. Document fourni par la compagnie.

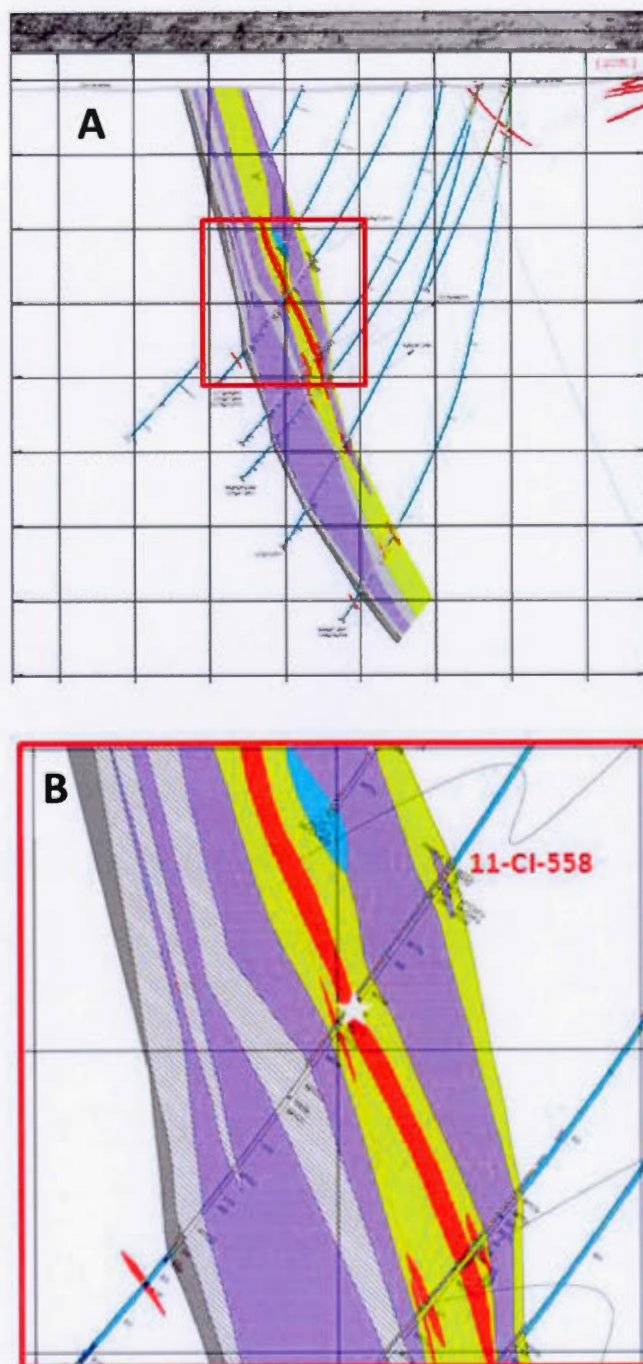


Figure 21 : (a) Section verticale pour le secteur Cinderella et (b) localisation précise d'un échantillon dans les dykes d'albite, Yrb7. Document fourni par la compagnie.

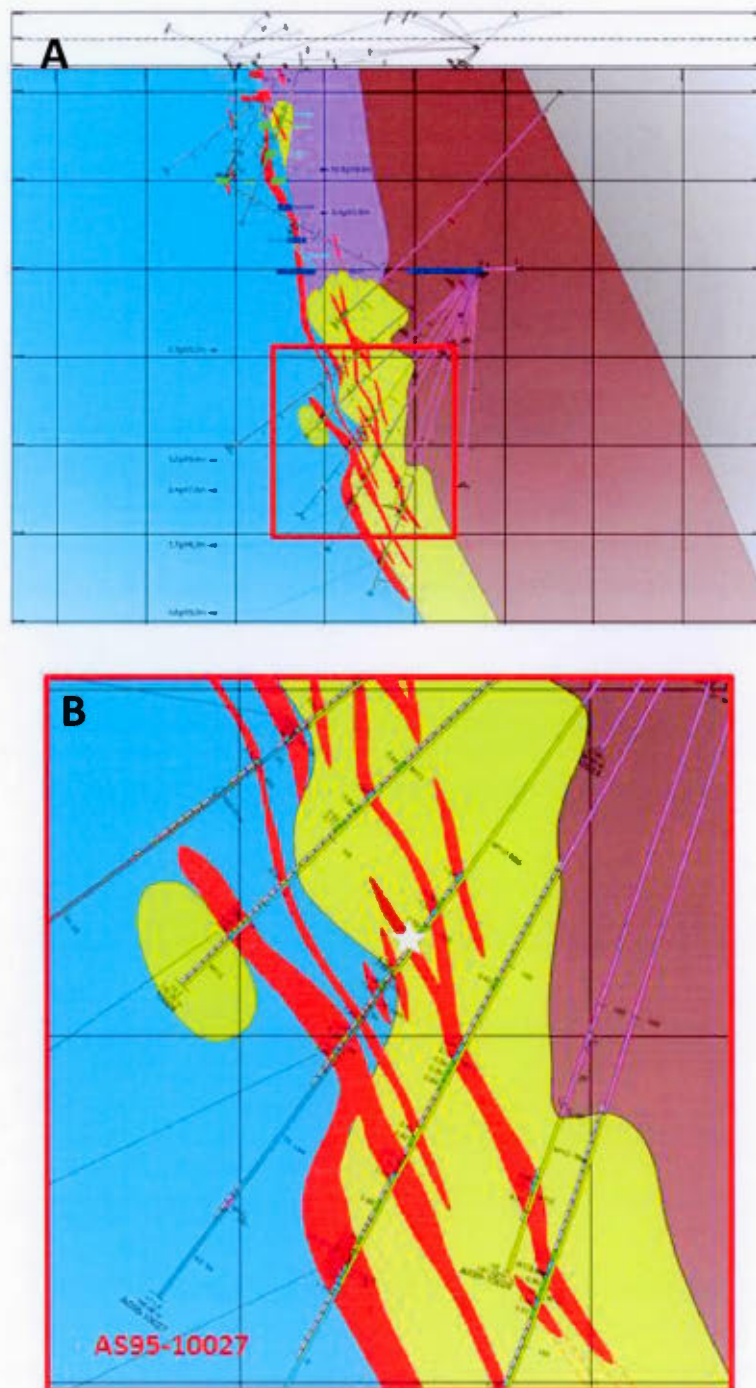


Figure 22 : Section verticale pour le secteur Astoria et (b) localisation précise d'un échantillon dans les skarns, Sk10027. Document fourni par la compagnie.

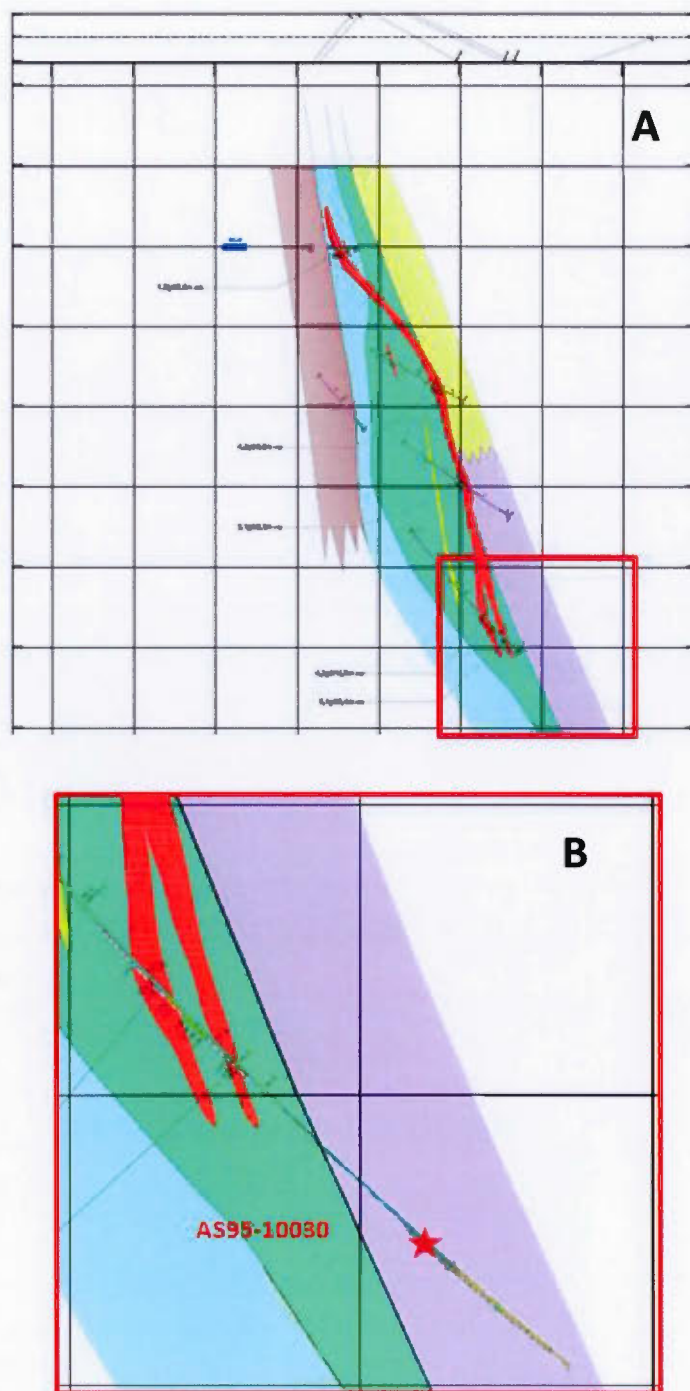


Figure 23 : (a) Section verticale pour le secteur Astoria et (b) localisation précise d'un échantillon dans les skarns, Sk10030. Document fourni par la compagnie.

APPENDICE B

**METHODE ANALYTIQUE POUR LES ANALYSES ET LES
CARTOGRAPHIES REALISEES SUR LES PYRITES PAR
SPECTROMETRIE DE MASSE COUPLEE PAR INDUCTION**

INTRODUCTION

La zone de faille Cadillac Larder Lake (ZDFCLL) est mondialement connue pour ses minéralisations aurifères (Dubé et Gosselin, 2007). Différents épisodes hydrothermaux ont permis la mise en place de plusieurs types de minéralisations (Bedeaux *et al.*, 2014). Les Ressources Yorbeau détiennent une propriété d'exploration minière le long de cette zone de faille, située dans le camp minier de Rouyn-Noranda. Les minéralisations, le long de cette propriété, sont principalement à arsénopyrite, pyrite, pyrrhotite, chalcopryrite et localement loellingite. Les pyrites et arsénopyrites présentent des zonations qui ont été analysées par ablation laser (LA-ICP-MS). Les objectifs de cette étude sont multiples:

- Déterminer les pyrites contenant des zonations et les classer ;
- Réaliser une étude au laser ICP-MS afin de documenter la nature géochimique de ces zonations et faire un lien avec la composition chimique des fluides ayant circulé lors de la cristallisation de ces sulfures ;
- Déterminer si les sulfures zonés, notamment les pyrites au sein des sédiments, contiennent de l'or invisible dans leur structure ;
- Comparer les pyrites proches des dykes protérozoïques, ayant subi le métamorphisme de contact, des pyrites éloignées des dykes afin de savoir l'influence du métamorphisme sur la minéralisation en pyrite.

Méthodologie

Afin de caractériser la géochimie des zonations au sein de la structure des sulfures, il est nécessaire d'utiliser un spectromètre de masse à plasma induit couplé à l'ablation laser ou LA-ICP-MS pour « Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry ». Les études au LA-ICP-MS ont été réalisées à l'université du Québec à Chicoutimi, au sein du laboratoire LabMater, Laboratoire des Matériaux Terrestres de l'UQAC, sous la supervision

de Dany Savard, ingénieur junior, et de Sadia Medhi, Msc. La méthode consiste en cinq grandes étapes (Site internet LabMater, UQAC) :

- Placement de l'échantillon dans une petite cellule;
- Ablation laser de l'échantillon en utilisant des rayons UV avec une longueur d'onde de 193 nm;
- Vaporisation de fines particules ($<2\text{ }\mu\text{m}$) suite à l'ablation du minéral;
- Récupération de la vapeur, transportée par l'hélium, jusqu'au spectromètre de masse;
- Ionisation des particules dans un plasma-Ar ($\sim 6000\text{ }^{\circ}\text{K}$).

Le spectromètre

Le modèle de spectromètre utilisé est un Résolution M-50Excimer (193nm.) ArF (Figure 1). Suivant les besoins de l'utilisateur, certains paramètres sont modifiés : la taille du laser, la vitesse de balayage, les éléments analysés.



Figure 1: Photographie du spectromètre de masse LA-ICP-MS situé dans le laboratoire LabMater à l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC).

Dans cette étude, les éléments analysés ont été des éléments majeurs tels que As, Ag, Au, Bi, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, S, Sb, Se, Sn, Te, Ti, Tl, U, V, Zn. Ces éléments comptent parfois des isotopes. L'utilisateur et le technicien détermineront ensemble quels isotopes utiliser. L'ensemble des données a été récolté sur trois jours d'analyses. En fonction de la taille de la carte à réaliser et de la précision souhaitée, la taille du faisceau a été fixée à 15 et 30 microns avec une fréquence de 15 Hertz à 5mJ par « pulse. Afin d'avoir une précision suffisante pour réaliser la carte, il est nécessaire d'avoir une vitesse de « pulse » suffisamment faible, ici comprise entre 10 et 20µm/s (Tableau 1).

Tableau 1 : Détail des conditions utilisées pour les trois journées d'analyse au laboratoire LabMater, UQAC.

Projet	Date	Type d'analyses	Conditions	Standards utilisés
Ak	2014-10	Cartes: Py-Douay, Py 12-03	33µm, 15Hz, 20µm/s, 5mJ	Mass-1, Laf, GSE, GSD
Zh	2014-04	Cartes: Ana10 à Ana16	15µm, 15Hz, 10µm/s, 5mJ	Mass-1, Laf, GSE, Mass5
Yk	2013-11	Cartes: Pyrites	15µm, 15Hz, 10µm/s, 5mJ	Mass-1, GSE, Mass5, Mass-3

Les standards

Un standard est un matériau dont on connaît parfaitement la composition et qui sert à calibrer le laser. Chaque standard comporte des teneurs plus ou moins élevées en certains éléments. Les standards dits « classiques », utilisés pour les analyses de sulfures, sont Mass1, Mass5, Laflam et GSE (Annexes 1 et 2). Mass1 est riche en Cu, Fe, Mn, Na, S et Zn. Mass5 est riche Cu, Fe, Mn, Ni et S. Laflam est riche en Fe, Ni, S et PGE. GSE est riche dans tous les éléments sauf Au, Pt et Tl.

Lors des analyses, les standards sont scannés plusieurs fois : au départ, au milieu des analyses entre deux cartes et à la fin. Comme ces standards servent à calibrer la machine, le fait de les scanner plusieurs fois permet d'obtenir une teneur moyenne pour chaque

élément qui sera utilisée dans le traitement par la suite. La durée d'analyse de chaque standard est d'environ 50 secondes.

Avant d'analyser

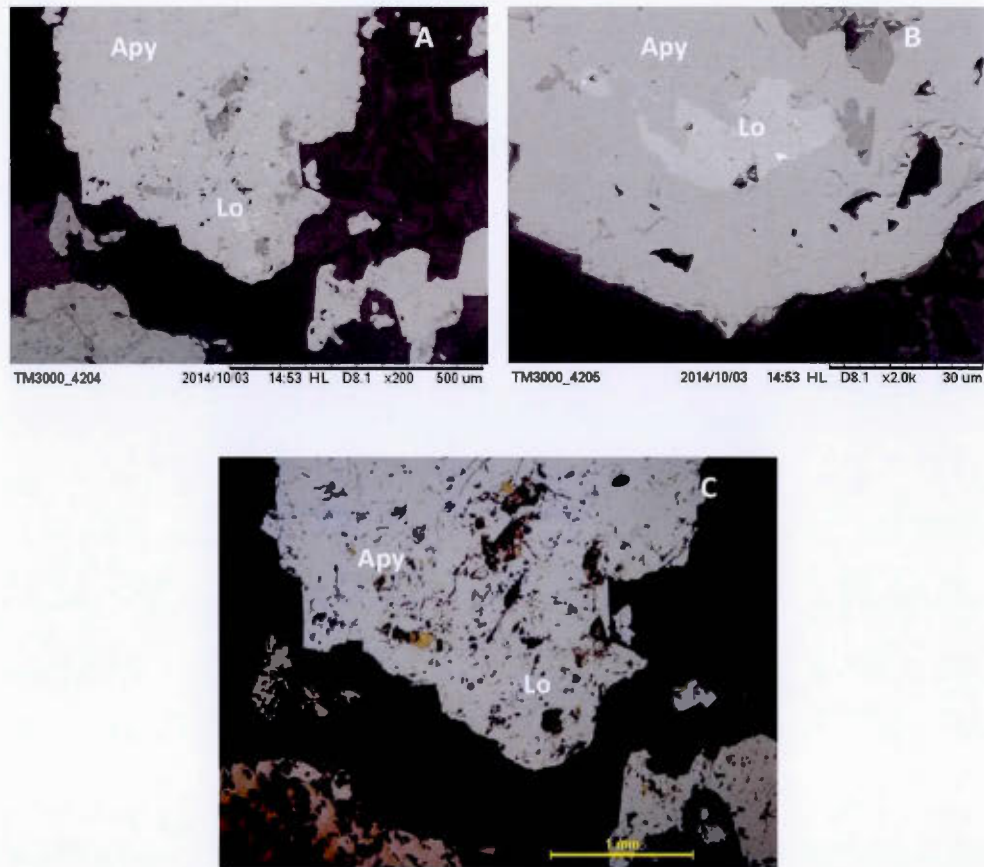
Avant toute série d'analyses, certaines tâches sont nécessaires afin de faciliter et de rentabiliser le temps d'utilisation de la machine. Il faut préparer l'échantillon, obtenir quelques données préalables, choisir le type d'analyses,

Préparer l'échantillon

Pour rentabiliser le temps d'analyses, il est nécessaire de localiser précisément le minéral - sulfure ou autre – à la fois sur la lame mince et grâce à des clichés. La méthode la plus efficace consiste en la photographie de la lame mince, la photographie du sulfure au microscope optique et au microscope électronique à balayage (MEB). En effet, certaines minéraux, comme la loellingite, sont très difficilement visibles au microscope optique (MO) et au LA-ICP-MS mais se distinguent plus aisément au M.E.B. (Figure 2). Dans le cas d'un sulfure fin, de l'ordre de quelques dizaines de microns, il est nécessaire de prendre au préalable des clichés de ce minéral avec des variations de zoom car le laser ICP-MS ne compte que quatre tailles de zoom, ce qui rend parfois difficile la localisation d'un minéral précis.

Les données nécessaires

Le laser LA-ICPMS doit être calibré en utilisant des standards reconnus internationalement. Ces standards sont des composants constitués d'espèces chimiques dont les teneurs sont connues. Dans le cas de sulfures, le calibrage se fait en utilisant Fe ou S, qui sont majoritairement présents dans les standards dits « classiques » tels que Mass-1, GSE, Mass5, Mass-3 et Laf.



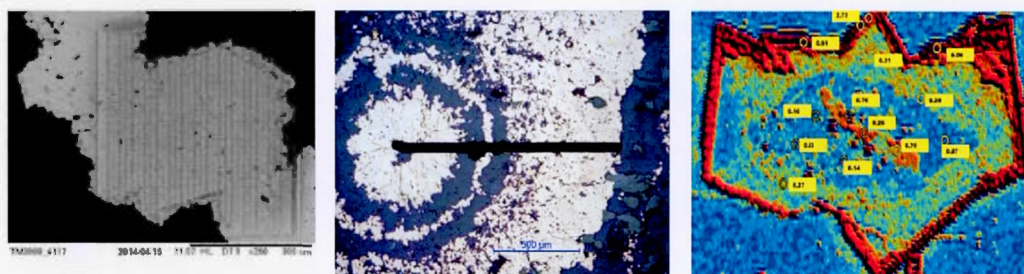
Figures 2: Photographies montrant des cristaux de loellingite (Lo) au sein d'un phénocristal d'arsénopyrite (Apy). La loellingite (Lo) est visible pour les clichés a) et b) réalisés au M.E.B. alors qu'elle est difficilement visible sur l'image c), au M.O.

Si l'utilisateur décide de faire une carte d'un sulfure, les seules informations requises seront la liste des éléments à analyser. Dans le cas d'analyses quantitatives, c'est-à-dire s'il décide d'utiliser l'ensemble des données correspondant à chaque ligne d'analyse, l'utilisateur devra connaître au préalable la teneur en Fe, ou S, dans le minéral étudié car les données sont traitées comme si la concentration en Fe, ou S, est de 1, équivalent à 1% de Fe ou S dans le minéral. Une simple multiplication sera nécessaire pour obtenir les valeurs « réelles ».

Le type d'analyse

Suivant les besoins de l'utilisateur, il est possible de choisir entre plusieurs types d'analyses :

- 1) la cartographie du minéral représentée par une suite de points d'analyses successifs, répétés trois fois et formant des séries de lignes parallèles correspondant au matériel arraché et analysé (Figure 3a) ;
- 2) une ou plusieurs série d'analyses qui permettent de déterminer, sur une section, les éléments présents dans le minéral (Figure 3b) ;
- 3) les analyses ponctuelles permettant, par exemple, de faire des comparaisons de la teneur d'un élément en plusieurs endroits dans le même sulfure (Figure 3c).



Figures 3: Photographies montrant les trace d'une multitude de lignes d'analyses pour : a) une carte ; b) une ligne d'analyse et c) des analyses ponctuelles.

Dans cette étude, les cartes ont été priorisées car elles permettent de donner une répartition géographique des éléments, de déterminer si ces éléments se trouvent dans la structure et/ou en inclusions et également d'avoir une idée de la chronologie relative dans la cristallisation de ces derniers. Par exemple, Ag est concentré au cœur du sulfure alors que Au forme des anneaux concentriques, ce qui suppose que Ag ait cristallisé de façon « précoce » par rapport à Au (Figure 4).

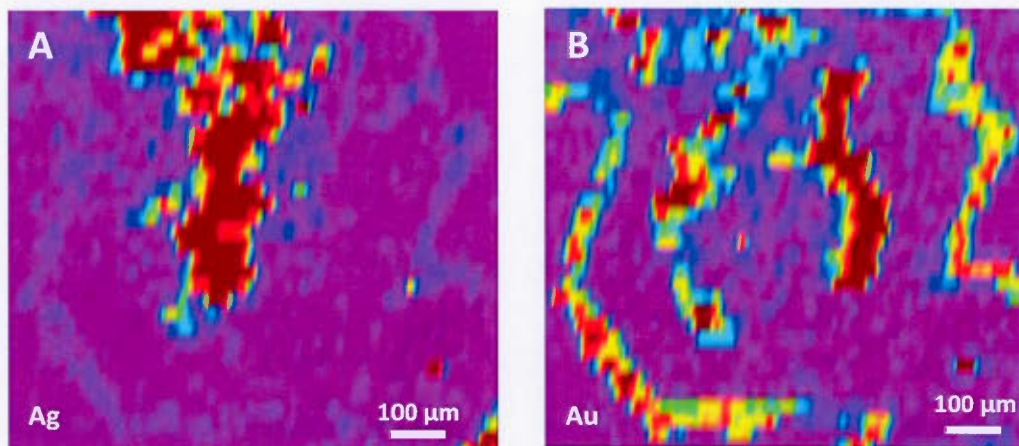


Figure 4 : Cartographies réalisées au LA-ICP-MS sur la pyrite framboïdale dans les shales noirs: a) concentration de l'argent au cœur de la pyrite alors que (b) l'or forme des auréoles concentriques témoignant de plusieurs stades de cristallisation.

Les conditions optimales

Les meilleurs résultats seront obtenus lorsque la taille du minéral dépasse les 50 microns et que la texture est suffisamment homogène. En effet, les résultats sont considérés comme « valables » lorsque la taille des boîtes d'analyse dépasse dix secondes, pour que le signal soit suffisamment « stable » et que les analyses soient suffisamment représentatives des teneurs présentes dans l'échantillon. Plus un minéral contient des inclusions et des cavités, et plus il sera difficile d'avoir un signal « homogène ». En fait, peu importe la taille maximale du minéral car le logiciel, utilisé par LabMater, impose une limite de 2,8h de fonctionnement et se fermera automatiquement par la suite.

C'est à l'utilisateur et au technicien de déterminer quel ou quels standards seront les plus adéquats à utiliser en fonction des éléments à analyser. Plus la teneur de l'élément à analyser sera importante dans le standard et plus les résultats seront proches des « vraies » teneurs dans l'échantillon. Par exemple, si l'utilisateur souhaite connaître les valeurs en or dans une pyrite, il devra traiter ses données en utilisant le standard ayant les plus hautes teneurs en or. Généralement, les éléments, présents dans un standard, dont les teneurs

dépassent 20 ppm, sont considérés comme représentatifs de la teneur de l'échantillon. Dans le cas où l'utilisateur prendrait un élément, mineur dans un standard, pour analyser ce même élément dans un échantillon, il obtiendrait des valeurs extrêmement faibles, notamment à cause des marges d'erreur trop élevées.

L'étude des pyrites

Les observations réalisées aux microscopes optique (MO) et électronique à balayage ont permis de classer les pyrites en sept catégories selon leur texture, leurs associations, leur localisation et leurs zonations :

- La catégorie 1 regroupe les pyrites étirées parallèlement à la schistosité, avec une texture poreuse et régulièrement associées à de larges cristaux d'arsénopyrite. Elles peuvent contenir des inclusions d'oxydes. Ces pyrites sont localisées dans les shales noirs situés dans le secteur Astoria, dans les veinules de quartz-carbonates au sein des sédiments du mur et du toit de la zone de faille ;
- Les pyrites de la catégorie 2 montrent des structures de remplacement avec des formes hexagonales et triangulaires, suivant l'angle de coupe lors de la confection de la lame mince. Ces pyrites sont localisées dans les fentes de tension au sein des sédiments du mur de la zone de faille ainsi que dans les schistes noirs dans le secteur Astoria ;
- Les pyrites de la catégorie 3 sont fortement zonées avec une première phase de cristallisation présentant des cristaux automorphes, parfois cubiques, pauvre en inclusions et textures de dissolution, et une recristallisation tardive, riche en textures de dissolution avec des bordures irrégulières typiques de pyrites bréchifiées. Ces pyrites sont recoupées par des fractures tardives et peuvent montrer des textures de recristallisations dendritiques. Elles sont localisées dans les fentes de tension des sédiments du mur de la zone de faille ;
- La catégorie 4 contient les pyrites localisées dans les fractures des larges cristaux xénomorphes d'arsénopyrite. Ces pyrites sont riches en or visible et galène et se

trouvent dans les fentes de tension au sein des sédiments du mur de la zone de faille ;

Dix pyrites provenant de différents secteurs ont été analysées. Parmi ces dix pyrites, quatre proviennent du secteur Astoria, dans les schales noirs, trois viennent du secteur Cinderella, dans les sédiments du mur de la zone de faille, une pyrite provient du secteur Douay, dans les shales noirs et le reste provient du secteur Cinderella, dans les fentes de tension des sédiments du mur de la zone de faille (Tableau 2). Les pyrites situées dans le secteur d'Astoria ont subi le métamorphisme de contact des dykes protérozoïques Abitibi.

Le traitement des données

Les logiciels

Une fois les analyses au LA-ICP-MS réalisées, il est nécessaire d'utiliser un logiciel pour réaliser les cartes et obtenir les données quantitatives afin de connaître la concentration moyenne du minéral en un certain élément. Le logiciel utilisé est une combinaison entre Igor Pro et Iolite. Ces deux logiciels sont téléchargeables sur internet pour des versions d'essai de 30 jours. Ils fonctionnent simultanément donc il suffit d'ouvrir Igor qui se connectera directement avec Iolite. Les analyses obtenues par le LA ICP-MS sont enregistrées au format .csv qui peut s'ouvrir directement avec excel.

Importer les données

Lorsque le logiciel Igor est ouvert, il suffit d'ouvrir le fichier de données. Pour se faire, il faut utiliser la commande « Import Data » et choisir « Single folder ». Le logiciel demandera de trouver les données qui sont au format .csv. Par la suite, un ensemble de spectres apparaîtra. Chaque spectre correspond à une ligne d'analyses. Les premiers spectres correspondent aux standards et ont une durée d'environ 50 secondes, correspondant à une ligne d'analyses. Si l'utilisateur a réalisé des cartes, il verra une suite de spectres séparés les uns des autres par un creux d'une dizaine de secondes correspondant au laps de temps nécessaire au laser pour qu'il se déplace afin de commencer une nouvelle série d'analyses.

Ce laps de temps est fixé à dix secondes pour laisser suffisamment de temps au laser de changer de ligne mais aussi pour voir suffisamment de différences, le long du spectre, entre les périodes de « repos » et les périodes d'activité (Figure 5).

Tableau 2 : Informations relatives aux dix pyrites analysées au LA-ICP-MS. Parmi ces dix pyrites, la moitié est sédimentaire et l'autre moitié est supposée hydrothermale.

Pyrites	Secteur	Type de pyrites	Encaissant	Forage	Métrage
Py-12	Astoria	Sédimentaire	Shales noirs	10 AS 526A	834.5
Py-13	Astoria	Sédimentaire	Shales noirs	10 AS 526A	834.5
Py-14	Astoria	Sédimentaire	Shales noirs	10 AS 526A	834.5
Py-4	Cinderella	Hydrothermale ?	Sédiments du mur de la zone de faille	09-CI-516	638.4
Py102	Cinderella	Hydrothermale	Sédiments du mur de la zone de faille	09-CI-516	638.4
Py3-2	Cinderella	Sédimentaire	Sédiments du mur de la zone de faille	09-CI-516	638.4
Py-3	Cinderella	Hydrothermale ?	Sédiments du mur de la zone de faille	09-CI-516	638.4
Py-11	Cinderella	Hydrothermale	Sédiments du mur de la zone de faille	09-CI-516	638.4
Py-Hydro	Cinderella	Hydrothermale	Roches ultramafiques	10-CI-534	482
Py-Douay	Douay	Sédimentaire	shales noirs	DO-07-30	82.5

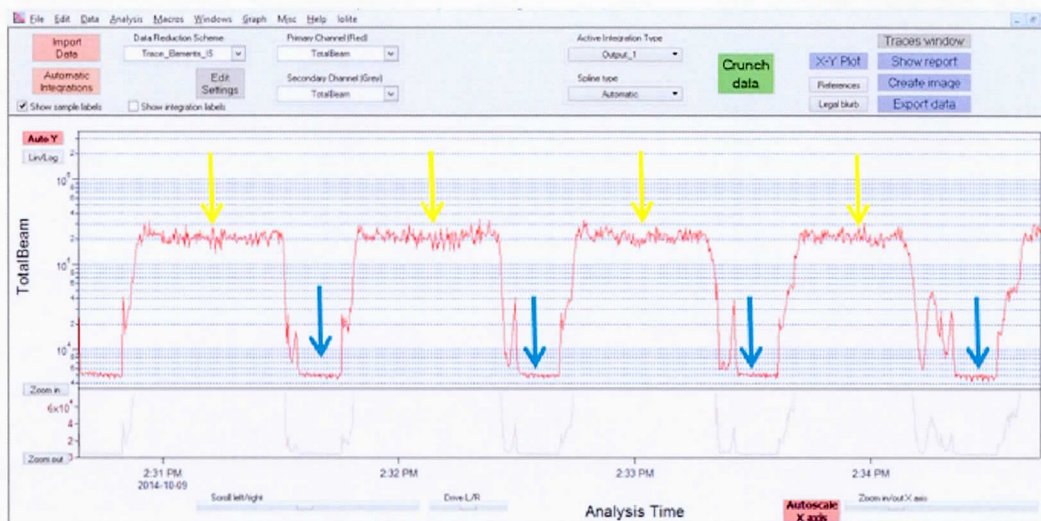


Figure 5 : Capture d'écran montrant les périodes d'activité (flèches jaunes) séparées par des périodes de repos (flèches bleues). Un spectre correspond à une ligne d'analyse.

Paramétrer le logiciel

Il faut ensuite utiliser la commande « Edit Settings » afin de paramétrer le logiciel (Figure 6). Dans la partie « General Settings », choisir « Mean no outlier reject ». Dans la section « DRS Specific Settings », il est important de déterminer l'« Index Channel », c'est-à-dire l'élément utilisé pour standardiser, ici Fe ou S. Dans « Reference Material », l'utilisateur doit choisir un standard qu'il a utilisé lors de ses analyses. Dans cette étude, cela peut-être Mass1, Mass3, Mass5, GSE ou parfois GSD. La « Standardisation method », pour obtenir les données quantitatives, correspond à « Internal Elemental Standard. Le « Default Index Content In Sample » correspond au pourcentage de l'« Index Channel » dans l'échantillon.

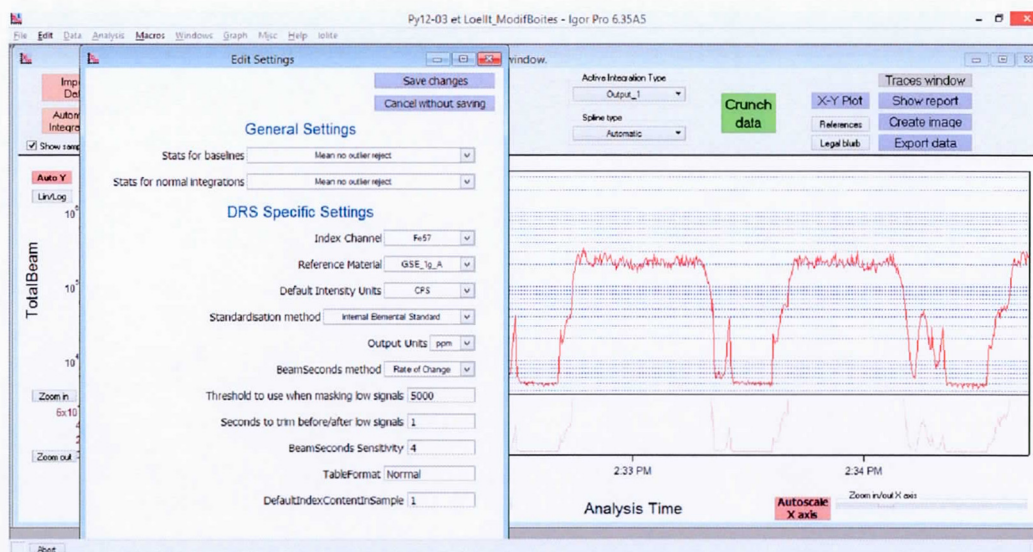


Figure 6 : Capture d'écran montrant les paramètres à modifier : « Stats for baselines », « Stats for normal integrations », « Index Channel », « Reference Material » et « Standardisation Method ».

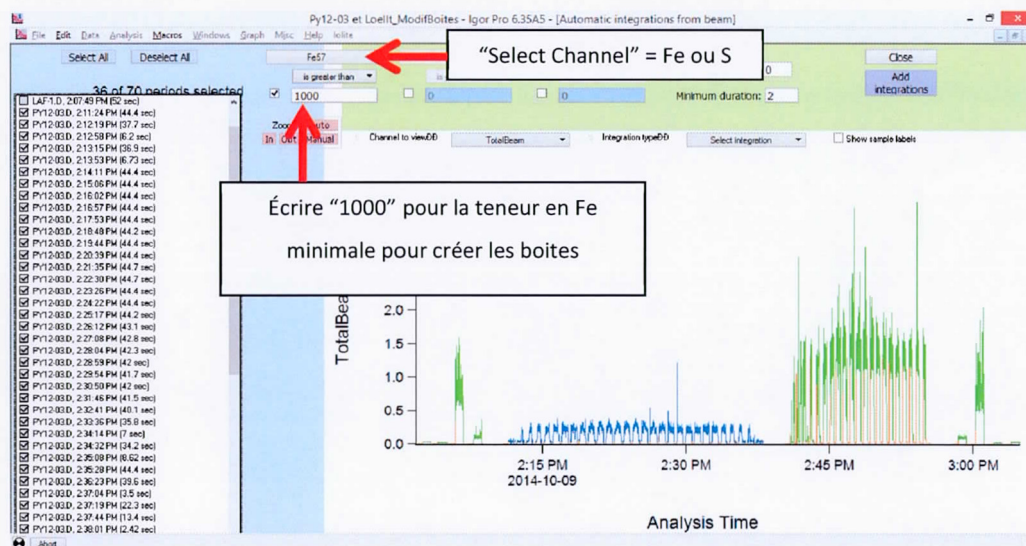
Les analyses au MEB pour une pyrite ont donné environ 25% de Fe donc le nombre à mettre dans cette section serait 25. Néanmoins, le logiciel est parfois capricieux et les facteurs peuvent ne pas être pris en compte. Il est donc conseillé de le laisser à 1 et de faire la multiplication plus tard, dans le tableur Excel.

Les cartes

Étape 1 : Créer les boîtes d'analyses

Pour les cartes, le traitement des données demande uniquement de vérifier que la durée des boîtes d'analyse et donc la taille de ces boîtes, reste constante tout au long des analyses. Ces boîtes correspondent aux analyses qui seront traitées par le logiciel donc tout ce qui sort de ces boîtes ne sera pas pris en compte. Dans le cas d'une carte, si les boîtes sont mal définies et inconstantes, des zones d'ombre apparaîtront sur la carte finale d'où l'intérêt de bien les définir. Ces boîtes peuvent être créées automatiquement en utilisant la

commande « Automatic integration » à partir de l'intensité du faisceau. Une nouvelle fenêtre s'ouvre avec dans laquelle certains paramètres sont à remplir : « Select Channel » et « is greater than ». Le « Select Channel » correspond à Fe ou S, suivant ce qui a été choisi comme élément pour standardiser. Pour le « is greater Than », en mettant 1000, une liste des boîtes créées apparaîtra. Ce « 1000 » signifie que les boîtes seront créées uniquement lorsque les teneurs enregistrées dépasseront 1 000 ppm (Figure 7).



Étape 2 : Paramétrer les boîtes

Une fois cette étape réalisée, l'utilisateur doit cocher l'ensemble des boîtes proposées tout en vérifiant l'homogénéité dans la taille des boîtes. En temps normal, les boîtes ne sont jamais toutes homogènes. Pour cela, il est nécessaire de repérer la durée qui apparaît le plus souvent pour ensuite modifier la taille de ces boîtes en fonction de cette valeur. La prochaine étape consiste à ajouter une nouvelle intégration dans le volet « Select integration » puis « Add new integration type » en mettant le nom de la carte que l'utilisateur va créer (Figure 8). Si le sulfure est suffisamment homogène, l'intégration

automatique créera un ensemble de boîtes avec très peu de différences entre-elles donc très peu de travail pour l'utilisateur. Dans le cas où des lignes d'analyses traversent des fractures ou des cavités, le logiciel traitera automatiquement ces « absences de données » comme des « accidents » et donc fera plusieurs petites boîtes quand, dans la réalité, cela correspond à la même ligne d'analyses. La tâche de l'utilisateur consiste donc à modifier les boîtes dont la taille diffère des autres, pour obtenir la plus grande homogénéité possible sur la durée de ces boîtes. Pour cela, il suffit d'aller sur la fenêtre principale du logiciel Igor et de maintenir la touche Ctrl et de cliquer sur les rectangles correspondant aux boîtes d'analyse (Figure 9). Lorsque les boîtes ont été paramétrées correctement, il faut cliquer sur « Crunch Data » qui sert à enregistrer les nouveaux paramètres.

Étape 3 : Créer les cartes

Une fois cette étape réalisée, il ne reste qu'à utiliser la commande « Create Image » puis « Image from Integration » et choisir l'analyse désirée. S'ouvrent alors trois fenêtres (Figure 10):

- La première fenêtre contient l'ensemble des cartes, avec les éléments chimiques, la charte des couleurs, l'échelle et l'enregistrement ;
- La deuxième fenêtre montre l'échelle correspondant à l'élément choisi. Dans la première fenêtre, il est possible de choisir une échelle logarithmique, utile lorsque les teneurs sont très faibles ; de l'ordre du ppm ;
- La dernière fenêtre, se trouve un zoom de la carte de l'élément sélectionné.

La première fenêtre offre le choix entre « Single trace with colour chart » ou « RGB composite (up to 3 traces) ». Cette option permet de créer une carte avec un seul élément, par exemple Au, ou d'utiliser jusqu'à éléments simultanément. Cette option est utile pour montrer des éléments qui se trouvent dans des zones différentes au sein du même minéral.

Sélection de boîtes
d'analyse pour la pyrite
Py12-03

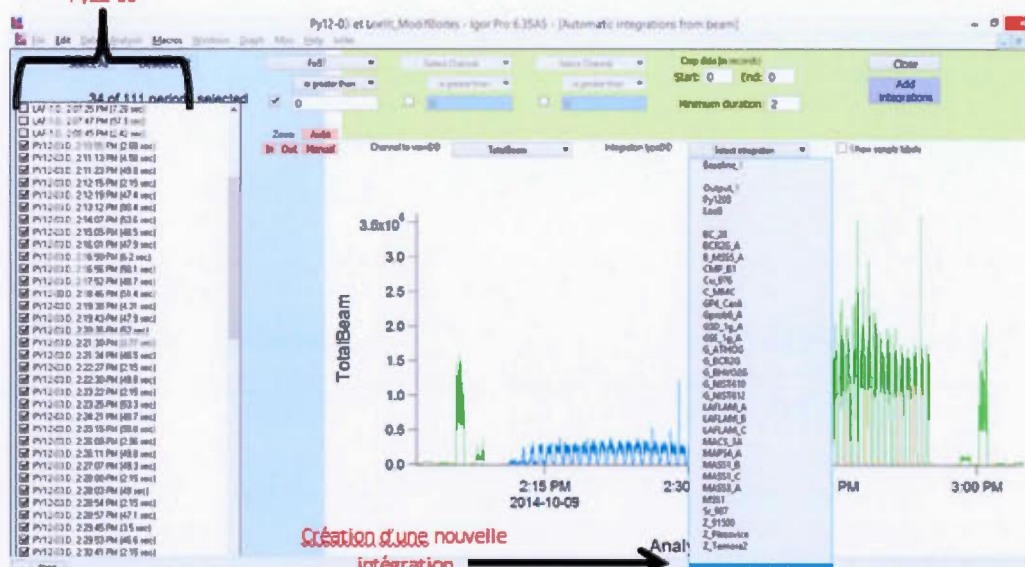


Figure 8 : Capture d'écran montrant la sélection des boîtes d'analyse, à gauche, et la création d'une nouvelle intégration.

Étape 4 : Modifier les couleurs et les échelles

Les couleurs « standards » des échelles sont le rouge, le jaune et le noir. Ce format est dénommé « Yellow Hot » dans la charte des couleurs. Dans cette étude, l'ensemble des cartes de sulfures s'est fait en utilisant la charte « Spectrum » qui compte un ensemble complet de teintes permettant de visualiser aisément les zonations. Afin de faire ressortir les zonations, il est nécessaire d'utiliser les variations d'échelle dans l'onglet « Limits ». Lorsque l'on clique sur cet onglet, des valeurs très anormales, parfois négatives, apparaissent et ne sont pas du tout représentatives de l'échantillon. L'utilisateur doit donc trouver les minima et maxima en utilisant l'échelle de la deuxième fenêtre, pour ensuite les rentrer dans l'onglet « Limits » dans la partie « Select the lower limit to display » et « Select the upper limit to display » (Figure 11). Il est très important de modifier les échelles afin de faire ressortir les éléments et cela permet également d'augmenter la précision pour

connaître la teneur approximative de certaines zones ou inclusions. Un exemple a été réalisé avec les deux mêmes cartes d'un même sulfure et des variations d'échelle. Sur la première carte, seules les valeurs minimales et maximales ont été changées alors que dans la deuxième, on a cherché à faire ressortir davantage les zonations (Figures 12 et 13).

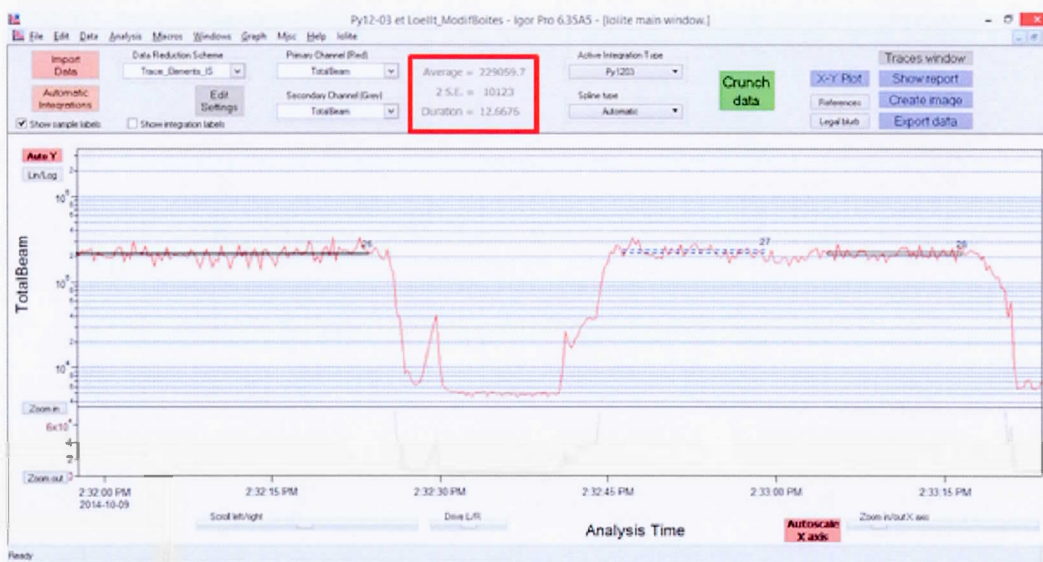


Figure 9 : Capture d'écran montrant comment modifier la taille et donc la durée des boîtes d'analyses en cliquant droit sur une boîte. La durée de la boîte apparaît dans la partie centrale (cadre rouge).

Les données quantitatives

Étape 1 : Ajuster les boîtes d'analyse

Pour créer des cartes, il faut utiliser des données semi-quantitatives. Pour obtenir des données détaillées sur l'ensemble des lignes d'analyses, il faut changer la méthode de standardisation pour « Internal Elemental Standard » (Figure 14). Dans ce cas, les boîtes d'analyses peuvent être modifiées à volonté en fonction des intentions de l'utilisateur :

Il est possible de connaître la teneur des inclusions en formant des boîtes uniquement sur ces inclusions ;

- L'utilisateur peut également connaître la teneur moyenne des éléments dans le sulfure. Pour cela, il doit modifier la boîte de chaque spectre afin d'avoir un signal suffisamment stable en évitant de prendre les inclusions et les creux ;
- Il peut également modifier les boîtes et en créer de nouvelles pour différencier les analyses dans le cœur et celles sur les bordures d'un sulfure (Figure 15).
- Les données sont considérées comme représentatives de la teneur moyenne dans un échantillon si la taille des boîtes dépasse dix secondes. Une fois le travail sur le logiciel Igor terminé, il suffit d'utiliser la commande « Export Data » qui enregistrera le fichier sous forme texte (.txt). Il suffira de l'ouvrir avec Excel pour commencer à l'utiliser.

Étape 2 : Créer le fichier Excel

Précédemment, le « Reference Material » correspondait au standard qui a été utilisé dans ces analyses. Ainsi, quand le tableur Excel sera créé, il correspondra au traitement des données selon ce standard préalablement choisi. De plus, il a été montré précédemment que les teneurs variaient en fonction de l'élément observé et de sa teneur dans le standard. L'utilisateur devra donc créer un fichier Excel pour chaque standard. Pour ce faire, maintenant que les boîtes ont été ajustées, il doit simplement utiliser la commande « Edit Settings », puis changer de standard dans « Reference Material » et actualiser le tout avec la touche « Crunch Data » pour exporter les données au format .txt. À la fin, il devrait y avoir autant de fichier .txt qu'il y a de standards.

Au moment d'utiliser le mode « Crunch Data », une petite fenêtre « Trace Element Control Panel » s'ouvre (Figure 16). Si rien ne s'affiche en dessous de « Internal Standard is Fe », cela signifie qu'il y a besoin d'actualiser les changements. Pour ce faire, cliquer sur « Reload Int Std Info » et créer un nouveau fichier texte avec un clic droit. À ce

moment doit apparaître la liste des standards utilisés sous « Internal Standard is Fe ». L'exportation du fichier peut alors se faire.

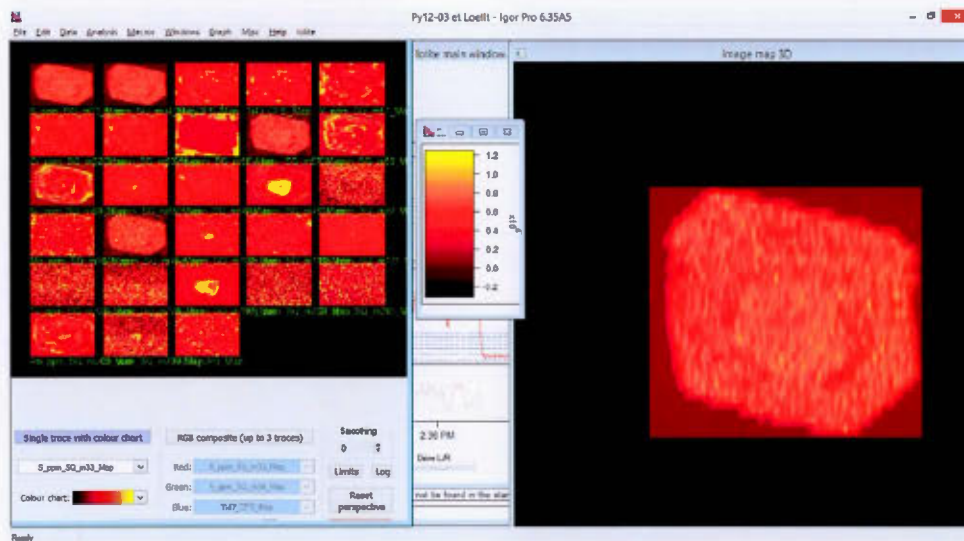


Figure 10 : Capture d'écran montrant les trois fenêtres qui apparaissent lorsque la carte est créée. La fenêtre de gauche montre toutes les cartes créées. Celle du centre montre l'échelle des teneurs en un élément et la troisième fenêtre est un grossissement de la carte pour un élément.

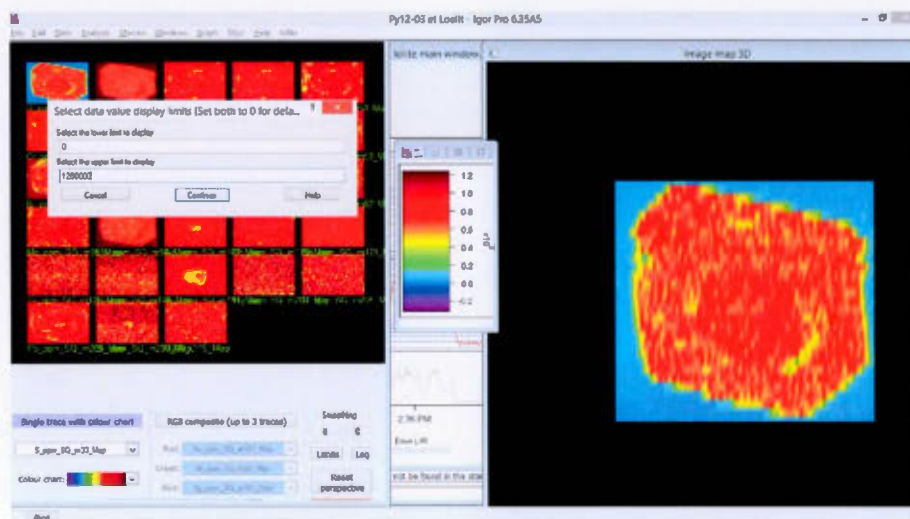


Figure 11 : Capture d'écran montrant comment modifier l'échelle pour faire ressortir les zonations. Ici, l'échelle de Fe est paramétrée pour des limites entre 0 et 1 200 000 ppm.

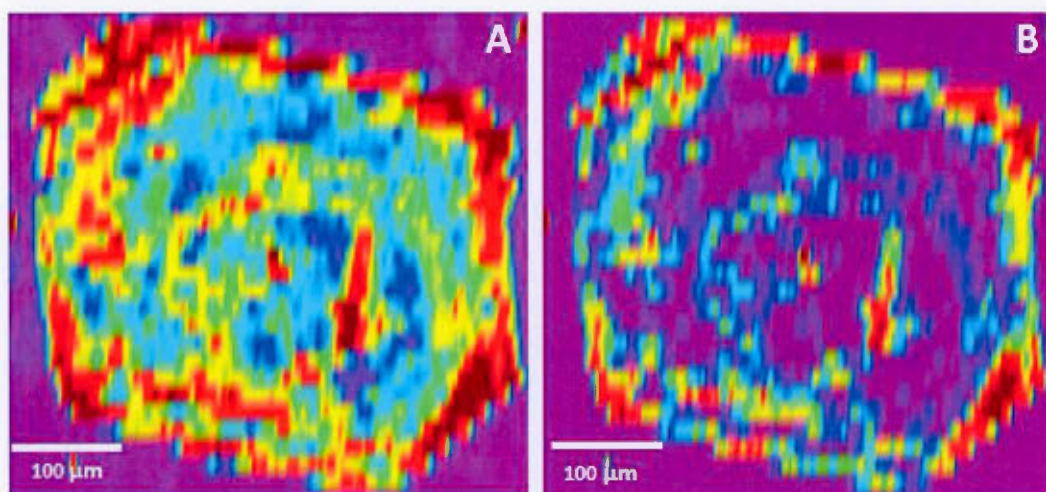


Figure 12 : Deux cartes de Co au sein d'une même pyrite : a) l'échelle n'a pas été modifiée et b) l'échelle a été modifiée pour faire ressortir les maxima.

Figure 13 : Cartes de la pyrite framboïdale, Py-Douay, dans les shales noirs du secteur Douay

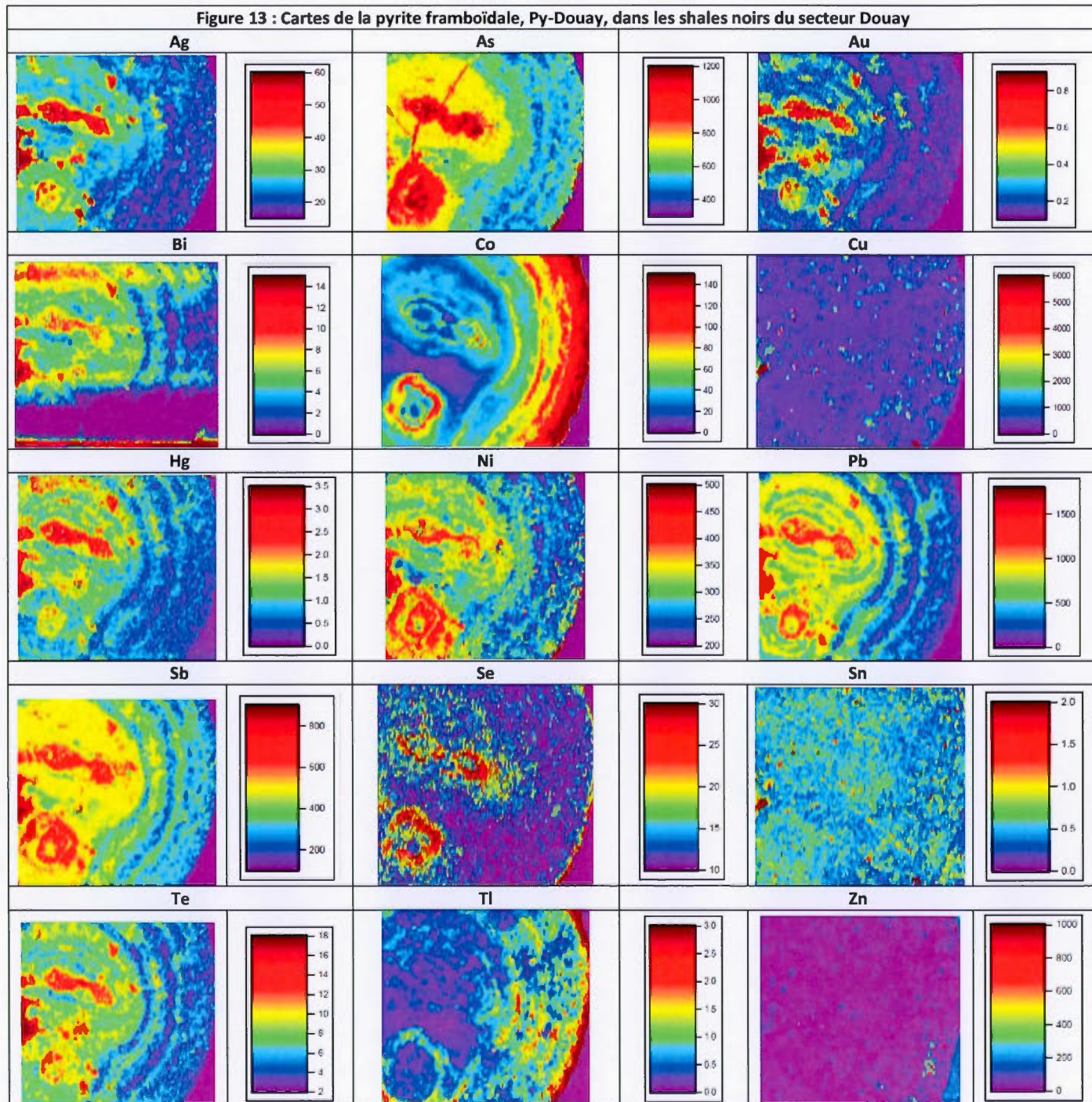




Figure 14 : Capture d'écran montrant comment modifier la méthode de standardisation lorsque l'utilisateur souhaite obtenir des données quantitatives (flèche noire).



Figure 15 : Capture d'écran montrant des boîtes pour le cœur d'un sulfure et des boîtes pour les bords.

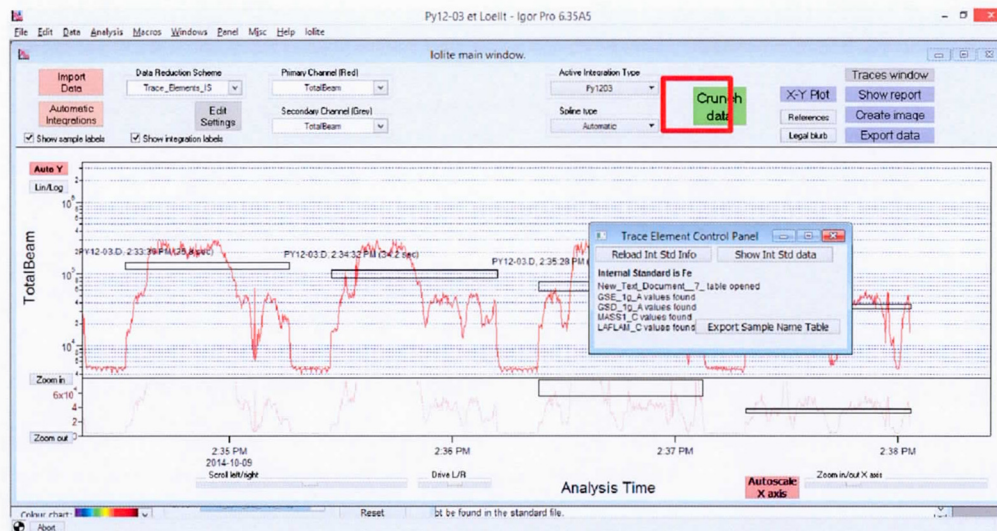


Figure 16 : Capture d'écran montrant la fenêtre s'ouvrant en utilisant la commande « Crunch Data » (carde rouge) permettant d'actualiser les changements.

Étape 3 : Comprendre le tableur Excel

Chaque ligne du tableur correspond à une ligne d'analyses. En utilisant une photographie du sulfure avec les traces du laser, il est possible de se repérer entre les lignes visibles sur le sulfure et les lignes dans le tableur. Les premières lignes correspondent aux valeurs des standards puis viennent les analyses du minéral. Tous les éléments chimiques préalablement choisis apparaissent dans le tableau, peu importe leur teneur dans le standard. Chaque élément compte trois colonnes :

- La première correspond à la teneur mesurée, en ppm, dans le minéral. Dans l'entête de ces colonnes se trouve l'élément chimique suivi de son numéro atomique - utile si plusieurs isotopes ont été utilisés - suivi de l'unité (ppm ou CPS). Certains éléments sont en comptes par seconde (CPS), ce qui signifie qu'ils ne sont pas présents dans le standard utilisé et ne peuvent donc pas être utilisés ;
- La deuxième colonne correspond aux incertitudes Int2SE, signifiant à 2Δ près (Figure 17) ;

- À la fin du tableau se trouve une troisième colonne correspondant aux limites de détection (LOD) de du standard pour chaque élément.

Étape 4 : Travailler le tableur Excel

Dans le cas où l'utilisateur a fixé à 1 le contenu en Fe, ou S, sous la section « Defaut Index Content In Sample » dans le logiciel Igor, il ne doit pas oublier de multiplier, dans le tableur Excel, l'ensemble des données par la teneur en Fe, ou S, dans le minéral.

Après avoir arrangé les données au format « Nombre » et fait la séparation des milliers, le tableur peut enfin être utilisé. Le travail de l'utilisateur est de déterminer, en fonction de chaque standard, quels éléments sont les plus enrichis dans quel standard. Par la suite, il pourra conserver les colonnes des éléments enrichis en ce standard et supprimer les colonnes contenant des éléments en CPS et les valeurs trop proches des incertitudes. Afin d'être le plus représentatif possible de la teneur moyenne d'un élément dans un minéral, il est important de supprimer les valeurs « anormales », même si cela fait diminuer les teneurs en or dans l'échantillon.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Fe57_CPS	Fe57_CPS	Fe57_CPS	Fe57_CPS	Fe57_CPS	Fe57_CPS	Fe57_CPS	Fe57_CPS	Fe57_CPS	Fe57_CPS	Fe57_CPS	Fe57_CPS	Fe57_CPS	Fe57_CPS
2	GSD_Ig_A_1	9230.00	120.00	-3500.00	1300.00	-2740.00	790.00	2481.00	26.00	2050.00	22.00	42.76	0.69	42.50
3	GSD_Ig_A_2	8890.00	110.00	6500.00	1100.00	1490.00	530.00	2409.00	26.00	1984.00	21.00	43.66	0.71	44.90
4														
5	GSE_Ig_A_1	9026.00	90.00	100.00	1800.00	1170.00	970.00	146.50	8.10	120.70	2.80	392.50	8.80	332.50
6	GSE_Ig_A_2	8536.00	53.00	2000.00	1100.00	-3190.00	660.00	135.10	2.90	115.70	2.40	411.60	4.80	330.40
7														
8	LAFIAM_C_1	82400.00	2400.00	415000.00	18000.00	434000.00	26000.00	1.86	0.52	1.53	0.37	0.17	0.07	-4.10
9	LAFIAM_C_2	75800.00	1700.00	409000.00	17000.00	406000.00	17000.00	1.65	0.41	1.61	0.30	0.21	0.06	-0.10
10														
11	Loeil_1	77200.00	4100.00	6310.00	460.00	6810.00	580.00	0.45	0.30	0.78	0.44	0.01	0.00	0.02
12	Loeil_2	76600.00	3400.00	6310.00	350.00	6340.00	340.00	0.27	0.21	0.69	0.44	0.00	0.00	0.17
13	Loeil_3	79500.00	5100.00	6080.00	420.00	5860.00	440.00	0.31	0.28	0.69	0.35	0.00	0.00	0.13
14	Loeil_4	78900.00	4200.00	6030.00	410.00	5970.00	460.00	0.37	0.28	0.69	0.34	0.00	0.00	0.06
15	Loeil_5	79100.00	4200.00	5810.00	260.00	6020.00	390.00	4.00	3.00	3.40	1.80	0.01	0.01	1.93
16	Loeil_6	69300.00	6000.00	6310.00	570.00	6820.00	840.00	0.70	0.44	0.56	0.30	0.00	0.00	0.57
17	Loeil_7	65900.00	4300.00	4950.00	650.00	5150.00	700.00	0.33	0.31	0.44	0.33	0.00	0.00	0.14
18	Loeil_8	83300.00	4900.00	6370.00	930.00	5890.00	420.00	3.30	3.00	2.90	1.90	0.01	0.00	1.12
19	Loeil_9	75300.00	4600.00	6220.00	550.00	6080.00	440.00	0.18	0.22	0.33	0.32	0.00	0.00	0.18
20	Loeil_10	79900.00	4000.00	6130.00	400.00	6220.00	450.00	0.21	0.20	0.67	0.27	0.00	0.00	0.12
21	Loeil_11	77900.00	4700.00	5850.00	430.00	6080.00	410.00	0.64	0.63	0.94	0.59	0.01	0.00	0.32
22	Loeil_12	74000.00	4500.00	6300.00	520.00	6570.00	580.00	0.98	0.69	0.81	0.51	0.00	0.00	0.47
23	Loeil_13	77000.00	6100.00	6470.00	560.00	6430.00	530.00	0.85	0.80	1.47	0.59	0.00	0.00	0.39
24	Loeil_14	74100.00	4000.00	6280.00	480.00	6470.00	400.00	0.28	0.23	0.74	0.43	0.00	0.00	0.13
25	Loeil_15	78900.00	4900.00	6210.00	480.00	6310.00	490.00	0.80	0.64	0.93	0.60	0.00	0.00	0.14

Figure 17: Capture d'écran montrant les données Excel avec les deux colonnes pour chaque élément : la première colonne correspond à la teneur en ppm et la deuxième colonne aux incertitudes de mesure, à 2Δ près.

Les outils de représentation

Dans le logiciel Igor, Il est possible d'avoir une vision d'ensemble des spectres avec plusieurs éléments. Ceci est possible grâce à la fonction « Traces Window ». L'utilisateur peut choisir une liste de huit éléments qu'il peut visualiser en même temps (Figure 18) mais seulement deux échelles, en comptes par seconde, peuvent apparaître sur le graphique. Cette méthode permet :

- D'établir les relations entre les différents éléments et de montrer leur comportement vis-à-vis l'un de l'autre ;
- De déterminer si l'élément observé se trouve en inclusions ou dans la structure du sulfure. Pour répondre à cette question, il suffit de visualiser les représentations graphiques des éléments et d'observer s'ils présentent un pallier ou une suite de pics. Le pallier signifie que l'élément se trouve dans la structure alors que le pic signifie que c'est une inclusion (Figure 19).

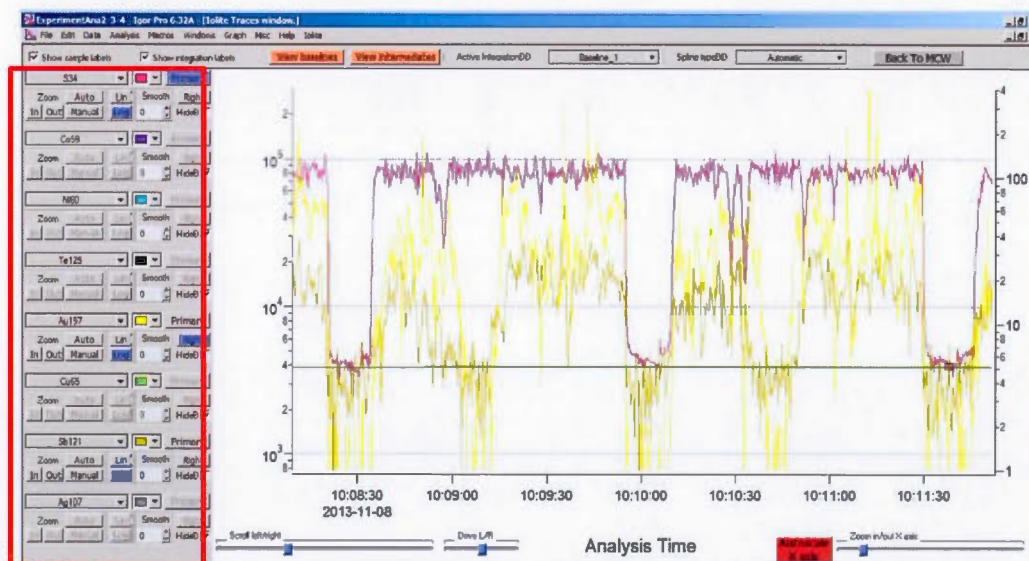


Figure 18: Capture d'écran montrant le graphique permettant de comparer huit éléments, en utilisant la fonction « Traces Window » du logiciel Iolite. Ici, les éléments comparés sont S, Co, Ni, Te, Au, Cu, Sb et Ag (cadre rouge).

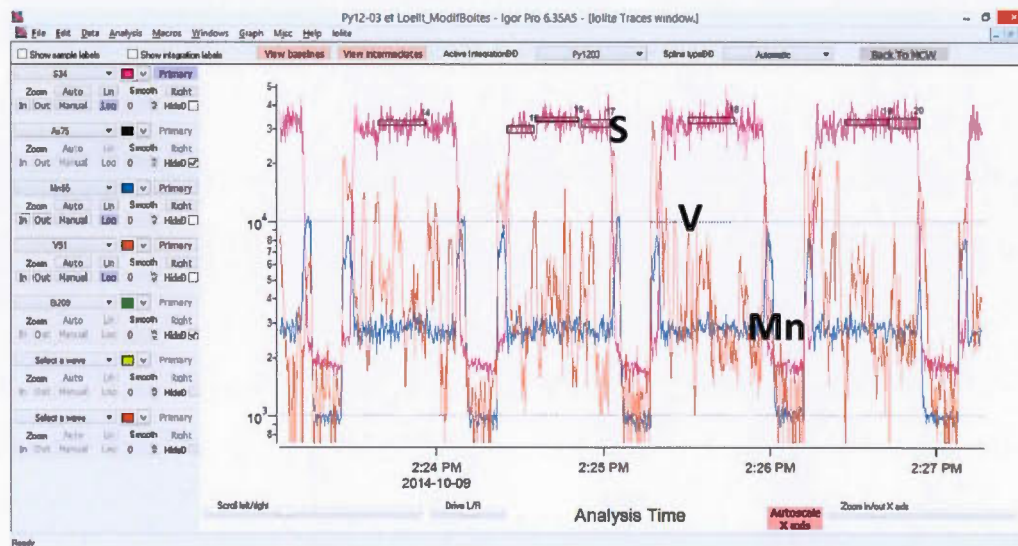


Figure 19 : Capture d'écran comparant trois éléments dans une pyrite : S en rouge, Mn en bleu et V en orange. S et Mn montrent clairement des paliers signifiant qu'ils se trouvent dans la structure du minéral. Par contre, V montrent de nombreux pics correspondant à des inclusions. Il serait très hasardeux de conclure que V est dans la structure de ce sulfure.

Annexe 1

Tableau 1 : Éléments présents dans le standard Mass1 ainsi que les teneurs et les incertitudes. Il est enrichi en Cu, Fe, Mn, Na, S et Zn

Mass1							
Éléments	Unités	Valeur	Incertitudes	Éléments	Unités	Valeur	Incertitudes
Ag	ppm	50	5	Mo	ppm	59	9
As	ppm	65	3	Na	ppm	25080	200
Au	ppm	47	-	Ni	ppm	97	15
Ba	ppm	14	5	Pb	ppm	68	7
Bi	ppm	60	-	Pt	ppm	51.9	-
Cd	ppm	60	7	S	ppm	276000	1000
Co	ppm	60	10	Sb	ppm	60	9
Cr	ppm	65	11	Se	ppm	51	4
Cu	ppm	134000	500	Sn	ppm	59	6
Fe	ppm	156000	1000	Te	ppm	15	-
Ga	ppm	64	11	Tl	ppm	50	-
Ge	ppm	50	-	V	ppm	63	10
Hg	ppm	57	3	W	ppm	20	2
In	ppm	50	-	Zn	ppm	210000	5000
Ir	ppm	46.2	-	Xz	ppm	50	-
Mn	ppm	280	80	Xb	ppm	50	-

Tableau 2 : Éléments présents dans le standard Mass5 ainsi que les teneurs et les incertitudes. Il est enrichi en Cu, Fe, Mn, Ni et S.

Mass5							
Éléments	Unités	Valeur	Incertitudes	Éléments	Unités	Valeur	Incertitudes
Ag	ppm	53	4.9	Ni	ppm	10487	
As	ppm	79	11	Os	ppm	42.58	0.93
Au	ppm	35.9	4.8	Pb	ppm	71.5	4.5
Bi	ppm	76.1	2.9	Pd	ppm	65.2	5.1
Cd	ppm	0.13	0.04	Pt	ppm	39.9	1
Co	ppm	0.28	0.02	Re	ppm	20.7	
Cu	ppm	208	24	Rh	ppm	61.4	7.2
Fe	ppm	570000	9000	Ru	ppm	21.68	2.31
Hg	ppm	1.38		S	ppm	404700	
Ir	ppm	40.21	0.53	Sb	ppm	61.3	7.3
Mn	ppm	11873	1306	Se	ppm	47.27	13.39
Mo	ppm	0.23	0.02	Sn	ppm	0.34	0.03
				Te	ppm	44	3

Annexe 2

Tableau 1 : Éléments présents dans le standard Lafl ainsi que les teneurs et les incertitudes. Il est enrichi en Fe, Ni, S et PGE.

Laflam_C							
Éléments	Unités	Valeur	Incertitudes	Éléments	Unités	Valeur	Incertitudes
Ag	ppm	0.06	0.01	Ni	ppm	143	15
As	ppm	1.88	0.2	Os	ppm	46.7	2.6
Au	ppm	45.8	2.4	Pb	ppm	0.07	0.02
Bi	ppm	0.03	0.02	Pd	ppm	43.4	0.3
Co	ppm	4.99	0.1	Pt	ppm	35.5	0.8
Cu	ppm	19	2.7	Rh	ppm	41.6	0.3
Fe	ppm	610700	2100	Ru	ppm	36.5	0.3
Ir	ppm	48	1.2	S	ppm	390900	1600
Mn	ppm	3	2	Sn	ppm	0.36	0.07
				Zn	ppm	4	0.5

Tableau 2 : Éléments présents dans le standard GSE ainsi que les teneurs et les incertitudes. Il est enrichi dans tous les éléments sauf Au, Pt et Tl

GSE							
Éléments	Unités	Valeur	Incertitudes	Éléments	Unités	Valeur	Incertitudes
Ag	ppm	200	20	Mn	ppm	590	20
Al	ppm	68804	2117	Mo	ppm	390	30
As	ppm	260	90	Na	ppm	28934	1484
Au	ppm	7		Nb	ppm	420	40
B	ppm	330	120	Nd	ppm	453	5
Ba	ppm	427	5	Ni	ppm	440	30
Be	ppm	490	80	P	ppm	70	20
Bi	ppm	320	30	Pb	ppm	378	12
Ca	ppm	52858	2143	Pr	ppm	460	10
Cd	ppm	160	50	Pt	ppm	30	
Ce	ppm	414	4	Rb	ppm	356	4
Co	ppm	380	20	Re	ppm	120	
Cr	ppm	400	80	Sb	ppm	450	110
Cs	ppm	310	20	Sc	ppm	530	20
Cu	ppm	380	40	Se	ppm	20	16
Dy	ppm	524	6	Si	ppm	250994	7011
Er	ppm	595	6	Sm	ppm	488	5
Eu	ppm	410	20	Sn	ppm	280	50
Fe	ppm	98717	2332	Sr	ppm	447	5
Ga	ppm	490	70	Ta	ppm	390	40
Gd	ppm	514	6	Tb	ppm	480	20
Ge	ppm	320	80	Th	ppm	380	20
Hf	ppm	395	7	Ti	ppm	450	42
Ho	ppm	501	8	Tl	ppm	2	0
In	ppm	370	60	Tm	ppm	500	20
Ir	ppm	120		U	ppm	420	30
K	ppm	21800	200	V	ppm	440	20
La	ppm	392	4	W	ppm	430	50
Li	ppm	430	60	Y	ppm	410	30
Lu	ppm	518	6	Yb	ppm	520	5
Mg	ppm	21106	181	Zn	ppm	460	10

Annexe 3

Tableaux 1 : Éléments présents dans le cœur et sur les bordures des cinq sulfures présentant des zonalités.

Py-3		
Éléments	Coeur	Bord
Ag	Fractures	
As	-	-
Au		x
Ba	-	-
Bi		x
Co		x
Cu	-	-
Fe	x	
Mn	x	
Mo	x	
Ni		x
Pb	Fractures	
Sb		x
Se	x	
Sn	-	-
Te	Fractures	
Ti	-	-
Tl	Fractures	
Zn		x

Py-4		
Éléments	Coeur	Bord
Ag	x	
As		x
Au	x	
Ba		x
Bi	x	
Co		x
Cr		x
Cu	-	-
Fe	x	
Mn	x	
Ni		x
Pb	x	
S	x	
Sb	x	
Se	x	
Sn	x	
Te	-	-
Ti		x
Tl	x	
U	-	-
V		x
Zn	x	

Py-13		
Éléments	Coeur	Bord
Ag	x	
As		x
Au		x
Ba	-	-
Bi		x
Co		x
Cr	-	-
Cu	x	
Fe	-	-
Mn		x
Mo		x
Ni		x
Pb	x	x
S	-	-
Se	x	x
Sb		
Sn		x
Te		x
Ti		x
Zn		x

Py-Douay		
Éléments	Coeur	Bord
Ag	x	x
As	x	
Au	x	
Bi	x	
Co	x	x
Cu	-	-
Hg	x	
Ni	x	x
Pb	x	
Sb	x	
Se	x	x
Sn	-	-
Te	x	
Tl	x	x
Zn		x

Py-Hydro		
Éléments	Coeur	Bord
Ag	x	
As	x	x
Au	x	
Bi	x	
Co		x
Cr		x
Cu	x	
Fe	x	
Mn		x
Mo	x	
Ni		x
Pb		x
Sb	x	
Sn		x
Zn		x

Annexe 4

Tableau 1 : Teneurs moyennes de chaque élément dans les dix pyrites analysées. Les teneurs sont toutes en parties par millions (ppm).

Pyrites	V	Cr	Co	As	Se	Mo	Ag	Sb	Pb	Bi	Mn	Ni	S	Cu	Zn	Te	Au
Py-12	1,3	53,59	370,62	2662,9	0,52	0,01	1,29	57,95	414,13	6,21	92	315,29	341741,08	349,34	14,87	0,44	2,19
Py-13-Bord	0,77	42,18	253,86	3113,72	0,84	0	0,07	10,01	49,94	5,02	118,46	530,49	353349,92	33,43	1,84	0,32	1,42
Py-13-Cœur	0,39	41,29	352,05	2139,47	0,66	0,01	1,16	40,91	361,01	6,36	105,83	464,96	354179,76	141,88	3,05	0,57	0,47
Py-14-Bord	167,81	83,79	82,53	1305,27	0,93	0,21	0,01	5,37	22,94	14,62	190,3	342,45	374594,64	21,69	18,19	0,84	0
Py-14 Cœur	0,7	49,61	117,25	926,85	0,71	0,06	0,02	0,86	2,33	3,09	107	395,3	345056,43	32,64	2,47	1,59	0,04
Py-4-Bord	32,06	153,76	143,42	1621,28	0,3	11,74	0,54	3,6	23,55	13,62	579,55	415,14	239565,33	17,49	5,38	0,39	0,15
Py-4-Cœur	1,05	143,48	3,64	101,64	0,41	10,78	1,23	4,28	60,66	11,43	562,96	37,64	239922,22	32,71	332,6	0,47	0,33
Py102-2	0,49	353,4	0,93	1972,35	0,29	12,26	0,24	0,31	6,83	0,56	828,04	32,77	291489,55	9,99	0,68	0,68	0,15
Py3-2	0,28	246,68	128,89	2904,2	1	12,99	0,75	4,51	50,35	44,87	714,96	317,06	298064,57	16,1	0,77	1,18	2,32
Py-3-Cœur	1,15	161,68	3,47	2117,18	0,43	10,61	0,26	0,83	12,58	3,22	582,89	120,39	248165,64	6,69	1,51	0,97	0,21
Py-3-Bord	17,37	174,21	200,84	1971,75	0,23	10,88	0,36	2,21	15,73	9,29	595,89	436,57	247877,14	7,99	3,08	0,6	0,12
Py-11	2,48	50,05	223,33	2305,49	2,52	0,03	42,91	5,47	1486,74	143,27	106,35	491,79	388721,19	33,83	3,09	0,96	18,36
Py-Hydro-Cœur	0,79	86,94	33,39	6619,5	-	15,82	-	2,3	1,47	-	73	430,3	254937,28	14,82	5,83	-	18,5
Py Hydro Bord	1,93	162,11	104,59	1363,13	-	16,4	-	2,26	3,24	-	79	589,22	266022,92	5,96	1,26	-	0,06
Py Douay	0,67	78,6	52,53	407,49	10,2	20,87	25,38	422,7	484,89	4,46	111,24	287,58	314636,65	397,54	14,06	-	0,19

Tableau 2 : Minima et maxima des teneurs moyennes au sein des dix pyrites analysées au LA-ICP-MS. Les teneurs sont toutes en parties par millions (ppm).

Éléments	V	Cr	Co	As	Se	Mo	Ag	Sb	Pb	Bi	Mn	Ni	S	Cu	Zn	Te	Au
Minimum	0,28	41,29	0,93	101,64	0,23	0	0,01	0,31	1,47	0,56	73	32,77	239565,33	5,96	0,68	0,32	0
Maximum	167,81	353,4	370,62	6619,5	10,2	20,87	42,91	422,7	1486,74	143,27	858,13	589,22	388721,19	397,54	332,6	1,59	18,5

Annexe 5

Tableau 1 : Détail des données utilisées pour réaliser le diagramme des teneurs aurifères en ppm pour chaque pyrite analysée.

	Py-11	Py-12	Py-13-Coeur	Py-13-Bord	Py-14	Coeur-4	Bord-4	Py-102	Py3-2	Py3-3-Coeur	Py3-3-Bord	Py Douay	PyHydro_Coeur	PyHydro_Bord
Count	4.00	14.00	17.00	14.00	42.00	9.00	29.00	19.00	32.00	37.00	14.00	67.00	8.00	24.00
Mean	0.72	2.68	0.43	1.52	0.06	0.33	0.15	0.17	2.02	0.22	0.12	0.19	18.50	0.06
SD	0.25	0.92	0.42	1.04	0.20	0.13	0.13	0.07	0.75	0.14	0.11	0.09	4.34	0.07
Min	0.54	1.17	0.01	0.07	0.00	0.10	0.01	0.09	0.09	0.04	0.03	0.10	12.60	0.01
Q1	0.59	1.94	0.05	0.68	0.00	0.27	0.07	0.13	1.55	0.12	0.05	0.13	15.71	0.01
Median	0.63	2.67	0.33	1.24	0.00	0.36	0.14	0.15	2.03	0.19	0.07	0.16	18.16	0.04
Q3	0.76	3.27	0.77	2.19	0.05	0.38	0.17	0.18	2.58	0.32	0.13	0.23	20.54	0.06
Max	1.10	4.51	1.21	3.37	1.25	0.51	0.55	0.33	3.59	0.65	0.34	0.54	26.56	0.27
Bottom	0.59	1.94	0.05	0.68	0.00	0.27	0.07	0.13	1.55	0.12	0.05	0.13	15.71	0.01
2Q Box	0.04	0.72	0.28	0.57	0.00	0.09	0.06	0.02	0.48	0.07	0.03	0.03	2.45	0.02
3Q Box	0.13	0.60	0.45	0.95	0.05	0.03	0.03	0.03	0.55	0.13	0.06	0.07	2.38	0.03
Whisker-	0.05	0.77	0.04	0.60	0.00	0.16	0.06	0.04	1.45	0.09	0.02	0.03	3.11	0.01
Whisker+	0.34	1.24	0.44	1.18	1.20	0.13	0.38	0.15	1.01	0.33	0.21	0.31	6.03	0.21

BIBLIOGRAPHIE

- Bedeaux, P., Pilote, P., Daigneault, R., & Rafini, S. 2014. «Synthesis of the structural evolution and associated gold mineralization of the Cadillac fault, Abitibi, Canada». 2014 GSA Annual Meeting in Vancouver, British Columbia.
- Dubé, B., & Gosselin, P. 2007. «Greenstone-hosted quartz-carbonate vein deposits». Mineral Deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada. *Mineral Deposits Division, Special Publication, 5*, p. 49-73.

APPENDICE C

METHODE ANALYTIQUE REALISEE SUR LES PARTICULES D'OR VISIBLE

INTRODUCTION

La zone de faille Cadillac Larder Lake (ZDFCLL) est mondialement connue pour ses minéralisations aurifères (Dubé et Gosselin, 2007). Les Ressources Yorbeau détiennent une propriété d'exploration minière le long de cette zone de faille, située dans le camp minier de Rouyn-Noranda. Cette compagnie minière n'a jamais réalisé d'études minéralogiques détaillées le long de sa propriété et de nombreuses questions restent en suspens, notamment en ce qui concerne les différents habitus de l'or, de ses associations minéralogiques et de l'influence du dyke protérozoïque sur les zones minéralisées. C'est la raison pour laquelle cette étude fut réalisée sur quatre secteurs : Augmitto, Cinderella, Lac Gamble et Astoria, qui sont supposées posséder le plus grand potentiel aurifère de la propriété.

PRESENTATION

Trente-six lames minces provenant des quatre secteurs Augmitto, Cinderella, Lac Gamble et Astoria, ont été observées. Ces lames minces proviennent d'échantillons localisés dans les roches ultramafiques du Groupe du Piché, dans les sédiments du Groupe du Témiskaming, incluant les shales noirs, ainsi que dans les dykes d'albite archéens. Ces lithologies ont été choisies car elles sont supposées contenir le plus grand potentiel aurifère parmi l'ensemble des lithologies présentes le long de la propriété. Le secteur Astoria est caractérisé par la présence de l'ancienne mine Astoria, avec une production aurifère de 163 000 tonnes à 5,3 g/t (P&E Mining Consultants Inc., 2005), située au contact avec le dyke protérozoïque. Le métamorphisme régional est le faciès des schistes verts alors qu'à proximité du dyke protérozoïque, le métamorphisme atteint le faciès à la limite entre les schistes verts supérieurs et les amphibolites. Les minéralisations se trouvent principalement : 1) dans les sédiments du toit et du mur de la zone de faille avec des veines de quartz-carbonates-tourmaline recoupant les sédiments séricitisés et minéralisés en arsénopyrite, pyrite \pm or

visible et 2) dans les roches encaissantes de type komatiites, avec des veines de quartz-tourmaline-carbonates, recoupant les roches ultramafiques à carbonates-fuchsite et minéralisées en or visible \pm arsénopyrite et pyrite.

METHODOLOGIE

Chacune des 36 lames minces a été observée au microscope optique (MO), en lumière polarisée analysée, polarisée non analysée et en lumière réfléchie. Lorsque des particules d'or ont été observées, des analyses ont été réalisées en utilisant le microscope électronique à balayage (MEB). Ce dernier a permis de : 1) photographier chaque particule ; 2) déterminer leur taille ainsi que les minéraux associés qui étaient trop fins pour être observés au MO et 3) mesurer le pourcentage en masse de l'or et de l'argent pour chaque particule.

Le MEB utilisé est un microscope Hitachi TM3000 couplé avec le logiciel Quantax 70. Ce dernier permet de détecter les éléments majeurs. Il est également possible de réaliser des cartes pour chaque élément en lui attribuant une couleur qu'il est possible de changer par la suite (Figure 1). Les commandes du MEB peuvent vite devenir complexes (Figure 2) mais pour dans cette étude, les principales commandes qui ont été utilisées sont :

- Le grossissement : entre 15 et 30 000 fois. À partir d'un grossissement de 4-5 000 fois la taille réelle, il devient difficile d'obtenir une image nette et donc des analyses précises (Figure 3) ;

- Les conditions d'observation : pour les analyses, il est important d'utiliser le logiciel en fonction « Analysis » pour obtenir les résultats les plus précis possibles. Les deux autres modes, à savoir 5kV et 15 kV fonctionnent uniquement lorsqu'il s'agit d'observations grossières ne nécessitant pas d'analyses ;

-La fonction « Auto focus » permet au capteur photographique de s'ajuster par rapport à la taille du sulfure observé et ainsi d'obtenir rapidement une image nette de la lame mince. Cette netteté peut être obtenue manuellement ;

-La fonction « Analyse » permet d'analyser les éléments présents dans la structure du sulfure. Étant donné les faibles capacités du MEB, seuls les éléments majeurs ressortent. Par exemple dans le cas d'une pyrite, apparaitront les teneurs en soufre et en fer, comptant pour environ 73% en masse, ainsi que des éléments comme l'oxygène (25%), le silicium (2%) et l'arsenic (< 1%). Les éléments inférieurs à 5% doivent être utilisés avec précaution étant donné les marges d'erreur, la contamination probable de l'échantillon, et les erreurs d'analyse.



Figure 1: Photographies réalisées au MEB montrant (a) les particules d'or, en bleu cyan, au sein d'un cristal d'arsénopyrite et (b) les particules d'or, en vert, à proximité de chalcopyrite (jaune) au sein des fractures de l'arsénopyrite (vert).

RESULTATS

Les données récoltées par les observations au MEB ont permis réaliser un catalogue sur les particules d'or (Tableau 1). Des particules d'or ont été observées dans les trois secteurs Augmitto, Cinderella et Astoria. Aucune particule d'or n'a été observée dans les quatre lames minces du secteur Lac Gamble. La taille des particules d'or varie entre quelques microns et dépasse les 100 microns. Suivant les secteurs, l'or se trouve associé à certains sulfures particuliers, comme dans le cas du secteur Astoria : l'or se trouve piégé à l'interface entre la loellingite et l'arsénopyrite. Le long du segment Augmitto-Astoria, l'or présente différentes associations minéralogiques suivant qu'il se trouve dans les roches ultramafiques, sédimentaires, dans les dykes d'albite ou bien dans les skarns:

- Sur les onze lames minces observées dans les roches ultramafiques du Groupe du Piché, seulement deux contiennent de l'or. La première lame mince provient du secteur Augmitto et contient des particules d'or dont la taille est comprise entre 10 et 30 microns. Ces particules se trouvent au contact entre la pyrite et la chalcoppyrite ainsi que sous forme de particules libres. La deuxième lame mince provient du secteur Astoria et contient des particules d'or piégées entre l'arsénopyrite et la loellingite (Figure 4) ;
- Sur les 20 lames minces réalisées dans les sédiments du Témiskaming, de nombreuses particules d'or ont été observées. La taille de ces particules varie de quelques microns à une centaine de microns. Des particules d'or se trouvent : 1) associées aux pyrites piégées dans de larges cristaux d'arsénopyrite ; 2) en remplissage des fractures d'arsénopyrite ; 3) libre dans la matrice de carbonates-quartz-tourmaline et 4) comme exsolution au contact entre la löllingite et l'arsénopyrite (Figure 5) ;
- Trois lames minces proviennent des dykes d'albite archéens et deux lames minces des skarns situés à proximité du dyke protérozoïque. Au sein des dykes d'albite, les particules d'or se trouvent : 1) dans les cavités ou sur les bordures des cristaux

d'arsénopyrite et de pyrite ; 2) piégées entre l'arsénopyrite, l'ilménite et la pyrite et 3) libre dans la matrice riche en carbonates-quartz-tourmaline (Figure 6). Pour les skarns, plusieurs particules d'or ont été observées entre l'arsénopyrite et la löllingite nickélique (NiFeAs₆).

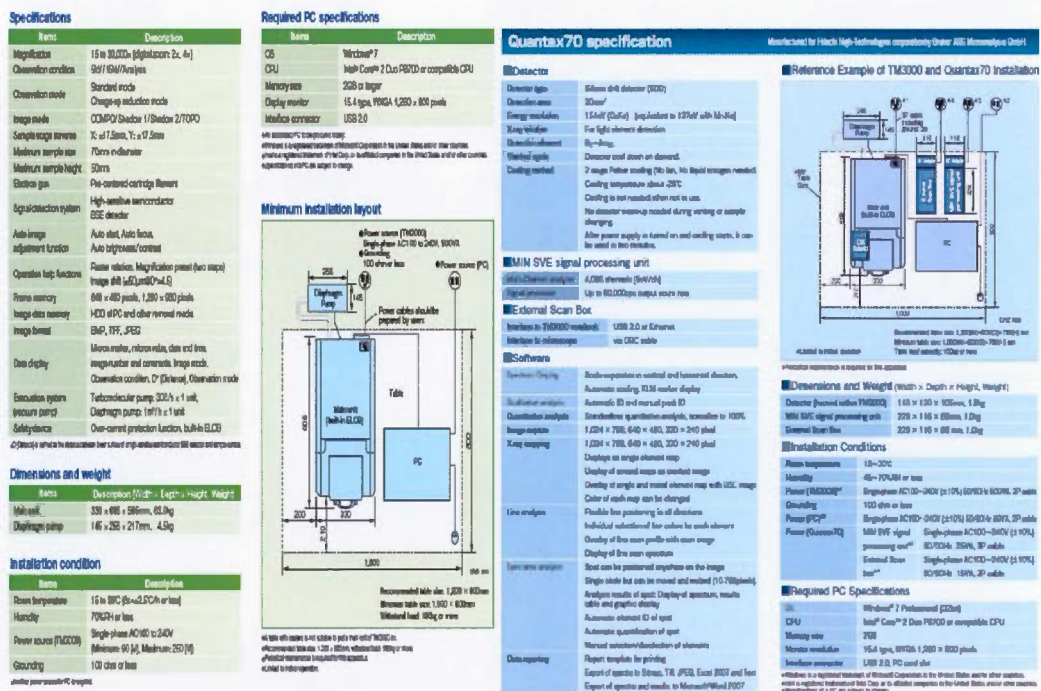


Figure 2 : Caractéristiques techniques du MEB Hitachi 3000 ainsi que du logiciel Quantax 70, par Hitachi High-Tech Inc.

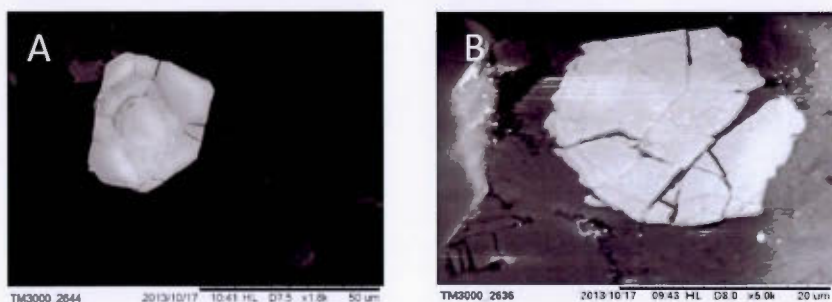


Figure 3 : Photographies prises avec le logiciel Quantax 70 montrant un cristal de zircon (a) avec un grossissement de 1.8k, soit 1 800 fois sa taille réelle et (b) avec un grossissement de 5.0k, soit 5 000 fois la taille réelle. La photographie (b) montre des perturbations dues au grossissement trop important par rapport aux capacités de la machine.

DISCUSSION

Le secteur Astoria montre plusieurs spécificités minéralogiques et géochimiques qu'il est nécessaire d'étudier: 1) la taille des particules d'or ne dépasse pas les 20 microns ; 2) les teneurs en argent apparaissent anormalement basses, en comparaison des teneurs dans les autres secteurs et 3) les particules d'or sont pigées entre la loellingite et l'arsénopyrite. Deux hypothèses peuvent être avancées : soit le secteur Astoria a connu un événement aurifère différent des trois autres secteurs, soit les minéralisations aurifères ont été perturbées par le dyke protérozoïque. Étant donné qu'aucune information ne permette de dire que les minéralisations aurifères du secteur Astoria proviennent d'une source différente des trois autres secteurs, la seconde hypothèse sera discutée dans cette partie. Le dyke protérozoïque est responsable d'une auréole métamorphique atteignant le faciès à la limite entre les schistes verts supérieurs et les amphibolites. Les particules d'or présentes dans les sédiments du Groupe du Piché et des sédiments du Groupe du Témiskaming ont pu être remobilisées à proximité de ce dyke lors de sa mise en place. La chaleur accompagnant la mise en place de ce dyke aurait pu extraire des éléments volatiles, comme l'argent, de ces sulfures (Large *et al.*, 2014). Les seules particules d'argent natif ont été observées dans la partie ouest du secteur Cinderella. Leur taille varie entre cinq et dix microns. Cet argument seul ne suffit pas à montrer que le dyke est responsable de l'extraction de l'argent de ces sulfures. Pour confirmer cette hypothèse, il serait nécessaire d'étudier les particules d'or le long de ce dyke protérozoïque, à plus grande échelle, afin de déterminer s'il s'agit d'un phénomène local ou bien plus global. En ce qui concerne la taille anormalement faible des particules d'or, entre un et 20 microns, aucune explication n'a encore été apportée.

Les échantillons recueillis dans le secteur Augmitto se trouvent également à proximité du dyke protérozoïque traversant la propriété. Bien que la taille des particules d'or et les rapports Au/Ag soient proches de ceux du secteur Astoria (Figure 7), les observations minéralogiques n'ont pas mis en évidence de minéraux d'un métamorphisme autre que celui des schistes verts. L'ancienne mine d'or Astoria se trouve à proximité de la jonction

entre deux dykes : 1) un dyke protérozoïque principal, est-ouest et 2) un dyke protérozoïque « mineur », nord-sud. Il est possible que la combinaison de ces deux dykes soit la cause de l'auréole métamorphique et donc de la remobilisation des particules d'or. Ceci pourrait expliquer l'absence d'auréole métamorphique dans le secteur Augmitto, qui est pourtant traversé par le même dyke.

Tableau 2 : Catalogue des particules d'or observées au MEB dans les 36 lames minces. Les données ont été triées par secteur, soit Augmitto, Cinderella, Lac Gamble et Astoria. Py : pyrite, Cpy : chalcopyrite, Apy : arsénopyrite, Gn : galène, N.I. : non identifié, FWZ : mur de la zone de faille, HWZ : toit de la zone de faille.

Secteur	N° lame	Lithologie	Au % Atom	Ag % Atom	S % Atom	Localisation	Au/Ag	Taille de Au	Teneurs échantillon
Augmitto	Yrb6	N.I.	28,85	5,15	33,3	Dans pyrite	5,60	10 um	2,5 g/t
Augmitto	Yrb1	Ultramaïfiques	29,34	3,56	2,7	Libre dans matrice	8,24	30 um	-
Augmitto	Yrb1	Ultramaïfiques	28,73	2,88	2,5	Libre dans matrice	9,98	30 um	-
Augmitto	Yrb1	Ultramaïfiques	20,76	1,85	4,83	Contact Py-Cpy	11,22	10 um	-
Augmitto	Yrb4	FWZ	33,19	6,1	7,98	Dans cavité Apy	5,44	15 um	4 g/t
Augmitto	Yrb12-08	Dyke	16,66	3,78	28,3	En contact avec Apy et Py	4,41	5-6 um	4,9 g/t
Cinderella W	Yrb3	FWZ	34,72	10,15	11,41	Associé à Gn	3,42	20 um	11 g/t
Cinderella W	Yrb3	FWZ	27,21	6,85	3,79	Dans matrice	3,97	30-40 um	
Cinderella W	Yrb3	FWZ	36,77	9,95	5,86	Dans Apy	3,70	80 um	
Cinderella W	Yrb3	FWZ	31,13	7,46	9,13	Au dans Apy et recoupée par Po	4,17	80 um	
Cinderella W	Yrb3	FWZ	20,61	5,63	0,74	Dans matrice	3,66	40 um	3,8 g/t
Cinderella W	Yrb3	FWZ	22,77	8,68	5,47	Associée à Gn	2,62	30 um	
Cinderella W	Yrb3	FWZ	20,1	7,79	9,89	Dans Apy	2,58	10 um	
Cinderella W	Yrb12-05	Dyke	37,42	4,26	3,44	Dans matrice	8,78	100 um	
Cinderella W	Yrb12-05	Dyke	21,37	17,54	1,12	Dans matrice	1,22	100 um	1,8 g/t
Cinderella W	Yrb12-05	Dyke	21,1	20,49	2,73	Dans matrice	1,03	> 100 um	
Cinderella W	Yrb7	Dyke	22,53	5,31	16,79	Dans pyrite	4,24	4-5 um	
Cinderella W	Yrb7	Dyke	25,15	11,06	5,86	Cavité Apy	2,27	10 um	
Cinderella W	FZW01	FWZ		9,62		Dans matrice		5-10 um	-
Cinderella W	FZW01	FWZ		6,85		Dans matrice		5-10 um	0,8 g/t
Cinderella E	Yrb2a	FWZ	21,54	12,47	39,63	Dans plages d'Apy et associé à Py	1,73	5x 8um	
Cinderella E	Yrb2a	FWZ	13,97	6,17	20,21	Dans plages d'Apy et associé à pyrite	2,26	5* 50 um	
Cinderella E	Yrb2a	FWZ	19,08	8,62	7,15	En remplissage fractures Apy	2,21	20 um	
Cinderella E	Yrb2a	FWZ	22,05	6,13	22	En inclusion dans Py	3,60	34- um	
Cinderella E	Yrb2a	FWZ	18,57	8,51	13,51	Dans veinule de Cpy elle-même dans	2,18	2-3 um	

Cinderella E	Yrb2a	FWZ	35,4	12,46	21,27	fracture Aspy		2,84	40-80 um	
Cinderella E	Yrb2a	FWZ	28,99	11,96	14,03	Dans plages d'Aspy et associé à Py		2,42	5-20 um	
Cinderella E	Yrb2a	FWZ	34,65	16,13	14,77	Dans fracture de grandes plages d'Aspy et proche de Py		2,15	10-80 um	
Cinderella E	Yrb2a	FWZ	33,32	14,09	16,22	Dans fracture de grandes plages d'Aspy et proche de Py		2,36	10-80 um	
Cinderella E	Yrb2a	FWZ	23,8	11,14	24,96	Dans fracture de grandes plages d'Aspy et proche de Py		2,14	6-7 um	
Gamble	Yrb12-02	FWZ	16,06	7,05	17,89	Dans Aspy		2,28	4 um	5,7 g/t
Astoria	Yrb8	FWZ	24,7	2,31	0,76	Dans matrice		10,69	20 um	8,64 g/t
Astoria	Yrb8	FWZ	32,04	0	3,25	Dans matrice		Fort	8 um	
Astoria	Yrb8	FWZ	15,21	0	7,23	Dans Aspy		Fort	2-3 um	
Astoria	Yrb8	FWZ	21,42	1,32	3,51	Contact Lo-Aspy		16,23	2-3 um	
Astoria	Yrb8	FWZ	21,32	1,89	0,96	Dans matrice		11,28	20 um	25,1 g/t
Astoria	Yrb12-12	FWZ	14,13	1,97	14,55	Dans aspy		7,17	5-6 um	
Astoria	Yrb12-12	FWZ	21,28	3,99	9,3	Contact Lo-Aspy		5,33	5-6 um	
Astoria	Yrb12-12	FWZ	16,03	2,5	11,87	Contact Lo-Aspy		6,41	10 um	0 g/t
Astoria	Sk10027	Skarn	17,68	1,11	12,04	Contact NiFeAs6 et Aspy		15,93	1-2 um	

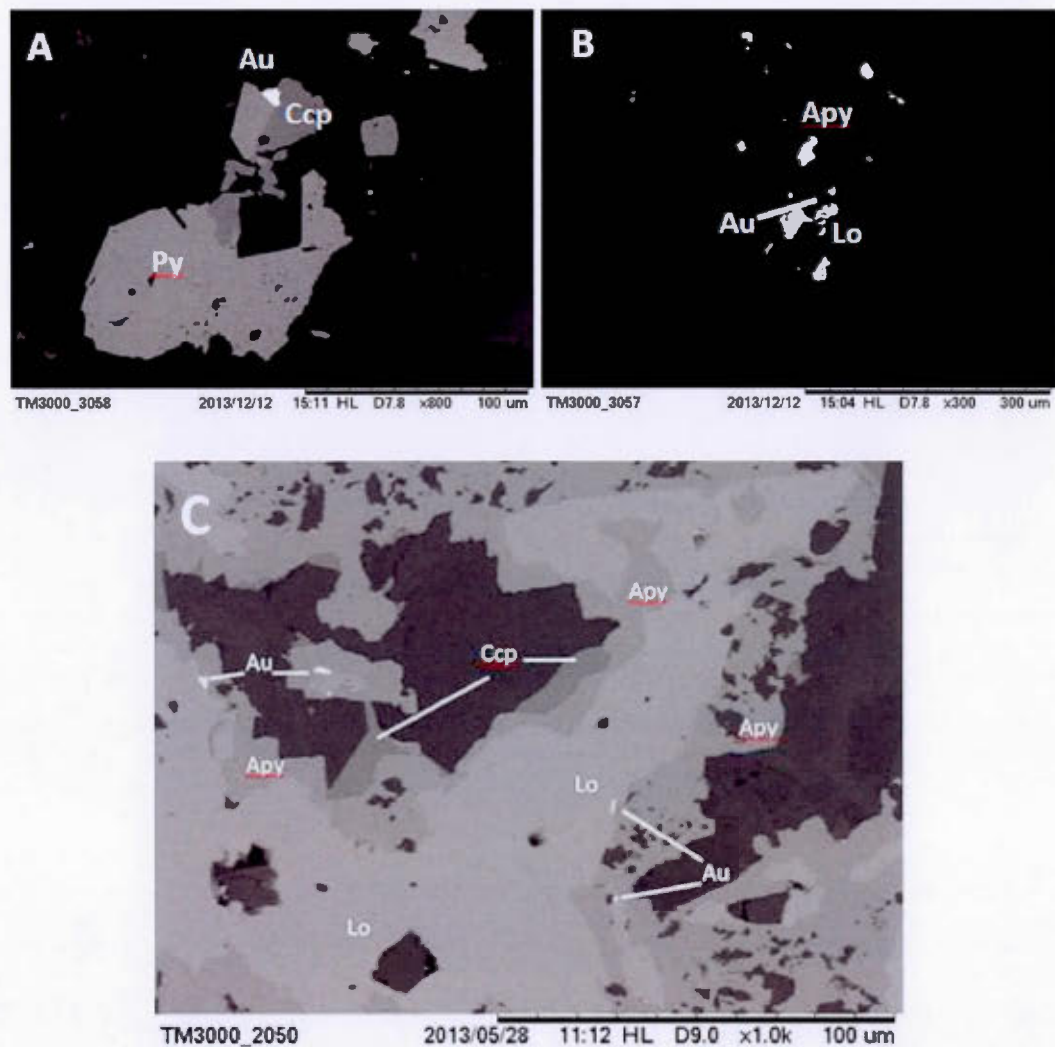


Figure 4 : Photographies illustrant les différents habits de l'or dans les roches ultramafiques du Groupe du Piché : (a) au contact entre la pyrite et la chalcopyrite, (b) libres dans la matrice et (c) piégées entre la löllingite (Lo) et l'arsénopyrite (Apy), à proximité de la chalcopyrite (Ccp).

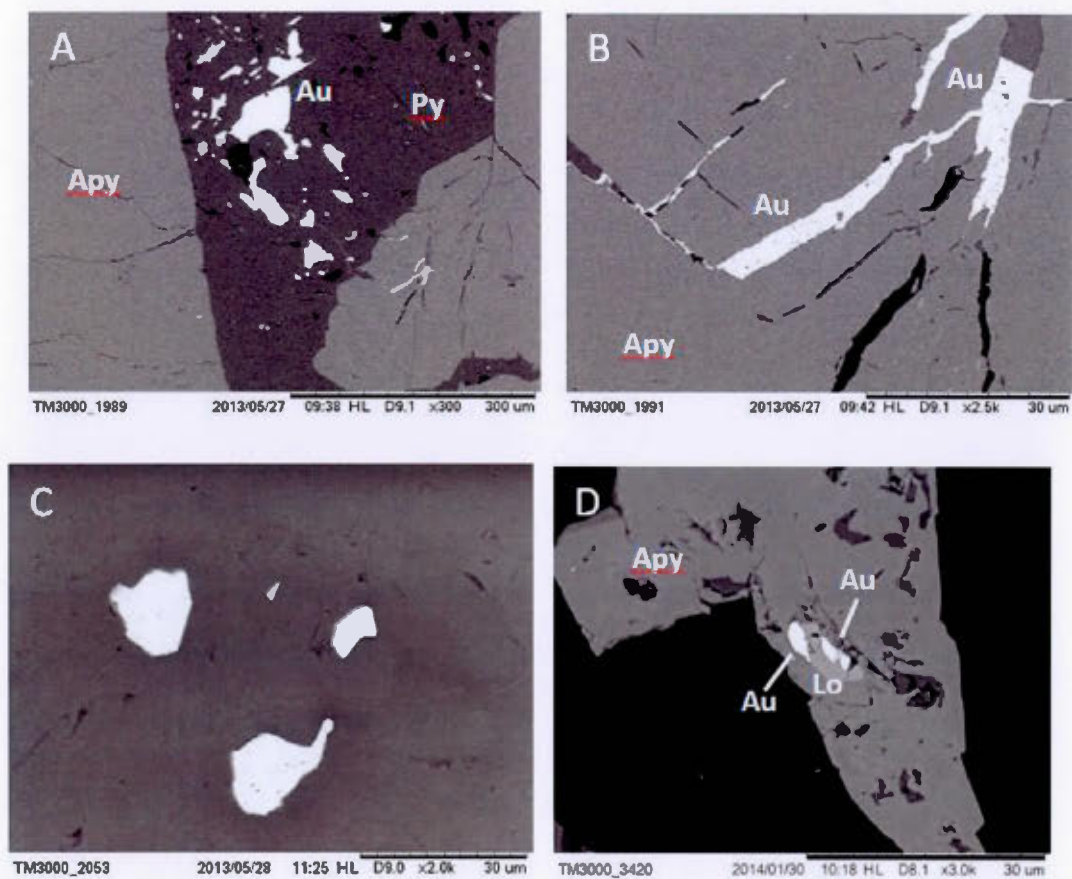


Figure 5 : Photographies illustrant les différents habits de l'or au sein des sédiments du Groupe du Témiskaming : (a) associées aux pyrites (Py) et piégées dans de larges cristaux d'arsénopyrite (Apy) ; (b) en remplissage des fractures d'arsénopyrite ; (c) sous forme d'or libre dans la matrice de carbonates-quartz-tourmaline et (d) comme exsolution au contact entre la löllingite (Lo) et l'arsénopyrite (Apy).

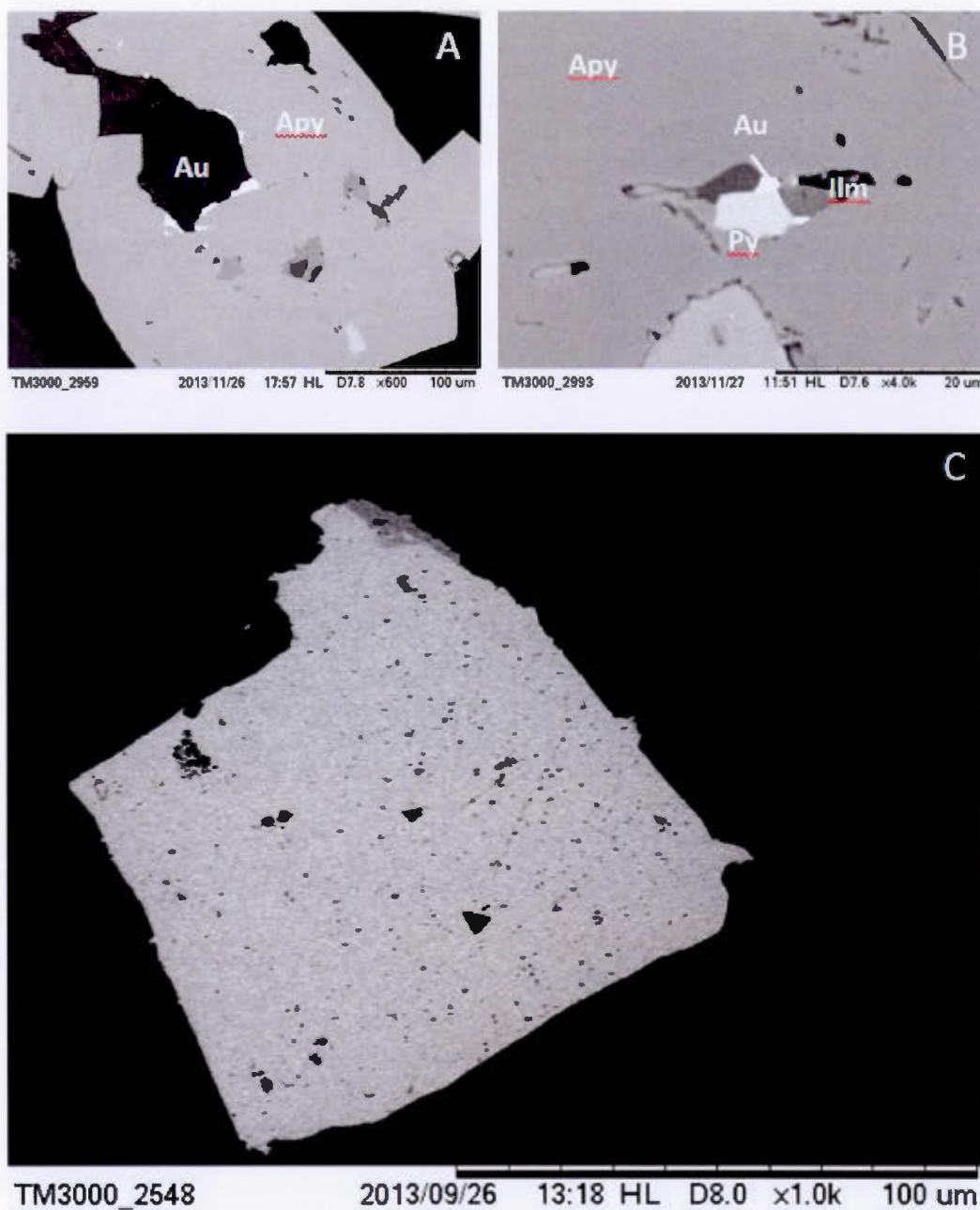


Figure 6 : Photographies illustrant les différents habitus de l'or dans les dykes d'albite : (a) dans les cavités ou sur les bordures des cristaux d'arsénopyrite (Apy), (b) piégées entre l'arsénopyrite (Apy), l'ilmenite (Ilm) et la pyrite (Py) et 3) libre dans la matrice riche en carbonates-quartz-tourmaline.

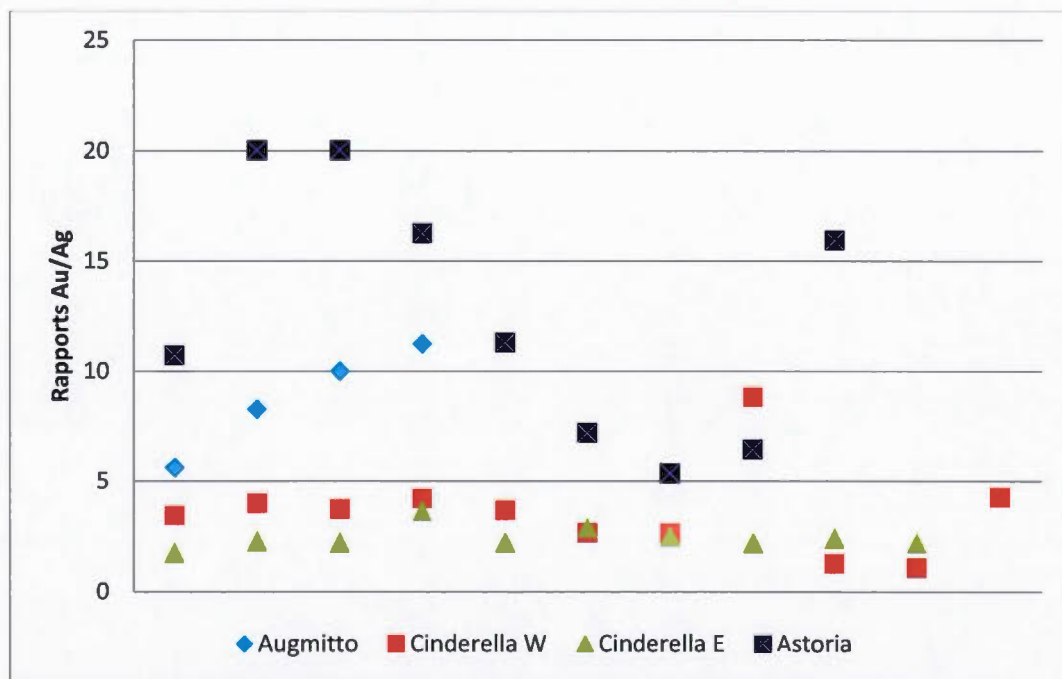


Figure 7 : Graphique montrant les rapports Au/Ag des particules provenant des trois secteurs Augmitto, Cinderella et Astoria. Les rapports Au/Ag pour les secteurs Augmitto et Astoria sont relativement proches.

APPENDICE D

ANALYSES GÉOCHIMIQUES RÉALISÉES SUR LES ÉCHANTILLONS

Table 1: Résultats des analyses géochimiques réalisées sur les échantillons

Sample	Lithology	Location	Analyte	Wgt	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	MnO	Cr2O3	Ni	Sc
			Unit	KG	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	PPM	PPM
			MDL	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	20	1
			Type														
Yrb12-01	Ultramafic rocks	Gamble	Drill Core	0,11	48,22	4,48	6,28	15,91	3	0,37	0,08	0,2	<0,01	0,09	0,215	845	12
Yrb12-02	FWZ Sediments	Gamble	Drill Core	0,15	61,13	17,81	6,01	3,88	0,49	4,55	2,65	0,71	0,12	0,05	0,031	70	14
Yrb12-03	Ultramafic rocks	Cinderella	Drill Core	0,18	36,46	4,67	6,51	15,45	10,19	0,33	0,12	0,2	0,01	0,14	0,189	663	13
Yrb12-04	HWZ Sediments	Cinderella	Drill Core	0,05	54,25	21,54	5,78	2,82	1,17	2,22	3,32	0,54	0,14	0,03	0,024	65	11
Yrb12-05	Albitite dyke	Cinderella	Drill Core	0,1	49,15	8,27	5,77	7,08	6,99	3,67	0,03	0,49	0,67	0,1	0,058	213	13
Yrb12-06	Ultramafic rocks	Cinderella	Drill Core	0,09	63,95	4,33	6,64	7,71	4,63	0,24	<0,01	0,15	<0,01	0,11	0,163	542	9
Yrb12-07	Ultramafic rocks	Augmitto	Drill Core	0,08	45,88	4,68	7,1	16,09	2,78	0,32	0,46	0,2	<0,01	0,1	0,21	926	14
Yrb12-08	Albitite dyke	Augmitto	Drill Core	0,1	60,91	10,89	4,61	3,87	4,63	3,99	0,09	0,36	0,42	0,06	0,02	36	10
Yrb12-09	Ultramafic rocks	Augmitto	Drill Core	0,05	23,15	5,04	7,25	5,67	30,73	0,11	0,04	0,3	<0,01	0,47	0,32	1120	17
Yrb12-10	HWZ Sediments	Augmitto	Drill Core	0,1	43,94	13,78	12,02	4,93	7,41	1,87	1,61	0,75	0,04	0,15	0,02	51	46
Yrb12-11	Ultramafic rocks	Astoria	Drill Core	0,12	42,14	8,43	11,35	22,28	7,86	0,21	0,34	0,34	<0,01	0,18	0,372	1037	27
Yrb12-12	Ultramafic rocks	Astoria	Drill Core	0,04	33,81	7,4	25,98	3,22	3,68	2,29	1,11	0,41	0,17	0,07	0,309	2760	27
Yrb12-13	FWZ Sediments	Astoria	Drill Core	0,04	54,69	20,89	6,09	5,22	0,25	6,96	1,64	0,67	<0,01	0,02	0,04	637	57
N1CC01	Ultramafic rocks	Augmitto	Drill Core	0,04	34,25	6,87	10,75	12,01	17,41	0,05	0,01	0,42	<0,01	0,33	0,44	2028	26
Sk10030	Skarn St	Astoria	Drill Core	0,08	43,67	6,76	10,74	21,29	9,79	0,14	0,03	0,35	<0,01	0,2	0,305	985	24
Sk10027	Skarn min	Astoria	Drill Core	0,04	46,43	5,77	7,88	24,35	7,75	0,36	0,16	0,15	<0,01	0,11	0,162	665	12
HWZ01	HWZ Sediments	Gamble	Drill Core	0,04	59,18	16,56	6,27	4,15	2,44	3,11	2,66	0,68	0,21	0,08	0,044	117	19
FWZ01	FWZ Sediments	Cinderella	Drill Core	0,1	63,43	15,71	6,4	3,46	1,61	2,95	2,66	0,6	0,16	0,07	0,034	99	17
V13st011	Ultramafic rocks	Cinderella	Drill Core	0,05	33,86	7,16	11,49	23,61	6,16	0,02	0,02	0,45	<0,01	0,17	0,49	997	31
V13st022	Ultramafic rocks	Augmitto	Drill Core	0,05	42,84	5,58	15,32	23,76	4,06	0,12	0,06	0,35	<0,01	0,14	0,431	1664	27

Sample	Lithology	Location	LOI	Sum	Ba	Be	Co	Cs	Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V
			%	%	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
			-5,1	0,01	1	1	0,2	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1	1	0,5	0,1	0,2	0,1	8
Yrb12-01	Ultramafic rocks	Gamble	20,8	99,69	60	<1	57	<0,1	6,4	0,3	0,6	1,2	<1	69,1	<0,1	<0,2	<0,1	141
Yrb12-02	FWZ Sediments	Gamble	2,3	99,72	872	<1	20,9	3	22,9	5,6	7,3	80,6	<1	260,6	0,6	7,2	2,4	113
Yrb12-03	Ultramafic rocks	Cinderella	25,3	99,69	34	<1	49	<0,1	5,1	0,5	0,4	3	<1	190,7	<0,1	<0,2	<0,1	92
Yrb12-04	HWZ Sediments	Cinderella	5,2	97,08	1510	3	14,7	2,7	24,7	6,4	10,9	67,7	2	370,8	1,2	25,4	5,1	92
Yrb12-05	Albitite dyke	Cinderella	15,4	97,65	52	<1	27,8	<0,1	5,3	2,3	3,8	<0,1	<1	184,5	<0,1	3,9	1,1	99
Yrb12-06	Ultramafic rocks	Cinderella	11,9	99,85	6	<1	41,9	2,3	4,1	0,2	0,3	0,4	<1	135,6	<0,1	<0,2	<0,1	92
Yrb12-07	Ultramafic rocks	Augmitto	21,8	99,7	136	<1	58,8	0,5	4,7	0,3	0,4	12,1	<1	97,5	<0,1	<0,2	<0,1	83
Yrb12-08	Albitite dyke	Augmitto	8	97,88	82	2	16,3	<0,1	10,7	3,5	4,6	0,7	1	204,6	0,4	5,9	1,3	72
Yrb12-09	Ultramafic rocks	Augmitto	26,6	99,84	10	<1	84,9	1,2	5,5	0,5	0,3	1	<1	262,1	<0,1	<0,2	<0,1	106
Yrb12-10	HWZ Sediments	Augmitto	13,3	99,8	239	<1	27,2	2,6	12,6	1,2	1,3	46,1	<1	79,7	<0,1	<0,2	<0,1	259
Yrb12-11	Ultramafic rocks	Astoria	5,9	99,58	42	<1	91,5	1,2	8,2	0,7	0,5	8,2	<1	36,6	<0,1	<0,2	<0,1	131
Yrb12-12	Ultramafic rocks	Astoria	14,8	93,63	339	1	325,2	0,2	7,2	0,8	1,9	22,1	<1	79	<0,1	0,4	0,3	163
Yrb12-13	FWZ Sediments	Astoria	3,3	99,8	451	<1	102,2	0,6	10	0,8	1,3	28,1	<1	99,5	<0,1	<0,2	<0,1	245
N1CC01	Ultramafic rocks	Augmitto	16,9	99,71	4	<1	124,4	0,6	5,7	0,6	0,6	<0,1	<1	217,3	<0,1	<0,2	<0,1	148
SK10030	Skarn St	Astoria	6,2	99,59	4	<1	81,6	<0,1	5,4	0,5	0,6	0,3	<1	94,3	<0,1	<0,2	<0,1	129
SK10027	Skarn min	Astoria	6,4	99,57	20	<1	64,8	0,4	4,2	0,3	0,2	3,4	<1	46,7	<0,1	<0,2	<0,1	78
HWZ01	HWZ Sediments	Gamble	4,3	99,72	816	2	27,9	1,4	18,9	3,5	5,8	95,4	<1	350,3	0,4	7,7	3,1	127
FWZ01	FWZ Sediments	Cinderella	2,6	99,72	823	<1	22,7	2,9	16,8	3,5	5,3	73,7	<1	488,1	0,1	6,2	2,4	113
V13St011	Ultramafic rocks	Cinderella	16	99,57	5	<1	71,8	1,3	6,5	0,8	0,6	1	<1	66,6	<0,1	<0,2	<0,1	141
V13St022	Ultramafic rocks	Augmitto	6,7	99,56	15	<1	103,5	5	3,5	0,4	0,4	2,6	<1	26,9	<0,1	<0,2	<0,1	163

Sample	Lithology	Location	W	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
			PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM
			0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,02	0,3	0,05	0,02	0,05	0,01	0,05	0,02	0,03	0,01	0,05	0,01
Yrb12-01	Ultramafic rocks	Gamble	4,6	9,9	3,1	0,4	1	0,13	0,6	0,2	0,11	0,34	0,07	0,48	0,11	0,41	0,05	0,29	0,06
Yrb12-02	FWZ Sediments	Gamble	8,6	208,6	16,3	35,6	72,8	8,35	30,8	5,04	1,18	4,43	0,52	2,93	0,6	1,73	0,28	1,84	0,25
Yrb12-03	Ultramafic rocks	Cinderella	8,4	9,6	5,6	0,9	2	0,34	1,7	0,53	0,32	0,88	0,15	1,02	0,23	0,71	0,1	0,55	0,08
Yrb12-04	HWZ Sediments	Cinderella	14,3	211,4	18,5	65,5	132	13,83	49	7,62	1,4	5,53	0,72	3,43	0,7	1,97	0,29	1,89	0,3
Yrb12-05	Albitite dyke	Cinderella	16,8	87,1	14,1	31,5	66,4	8,1	32	5,81	1,71	4,49	0,59	2,51	0,42	1,11	0,18	1,22	0,17
Yrb12-06	Ultramafic rocks	Cinderella	7,4	7,4	1,9	0,4	0,8	0,1	1	0,15	0,11	0,33	0,06	0,48	0,07	0,23	0,04	0,24	0,02
Yrb12-07	Ultramafic rocks	Augmitto	10,5	11,9	4,6	0,9	1,9	0,26	1,3	0,33	0,15	0,54	0,13	0,88	0,14	0,54	0,09	0,51	0,07
Yrb12-08	Albitite dyke	Augmitto	12,7	125,4	16,3	37,8	79,4	9,34	35,6	6,7	2,06	5,14	0,62	2,92	0,51	1,49	0,22	1,37	0,2
Yrb12-09	Ultramafic rocks	Augmitto	<0,5	14,3	5,4	0,9	2	0,28	1,3	0,55	0,27	0,77	0,13	0,95	0,2	0,54	0,09	0,66	0,08
Yrb12-10	HWZ Sediments	Augmitto	11,8	41,8	17	2,2	6	0,95	4,7	1,48	0,44	2,19	0,45	2,87	0,64	1,86	0,33	1,99	0,3
Yrb12-11	Ultramafic rocks	Astoria	9,2	19	6,3	0,8	1,5	0,28	1,7	0,4	0,14	0,68	0,14	1,05	0,26	0,85	0,13	0,81	0,11
Yrb12-12	Ultramafic rocks	Astoria	14,1	29,9	9,7	3,7	6,5	0,91	4	1,29	0,46	1,52	0,28	1,75	0,37	1,07	0,15	1	0,15
Yrb12-13	FWZ Sediments	Astoria	15,7	25,4	7,6	0,6	0,8	0,1	0,5	0,31	0,17	0,76	0,18	1,3	0,39	1,18	0,2	1,36	0,2
N1CC01	Ultramafic rocks	Augmitto	<0,5	19,7	6,8	0,8	2,9	0,39	2,3	0,64	0,47	1,03	0,19	1,13	0,28	0,88	0,11	0,75	0,1
SK10030	Skarn St	Astoria	1,7	17,6	8	0,9	2,2	0,36	2,2	0,56	0,29	1,05	0,21	1,41	0,31	1,06	0,14	0,97	0,12
SK10027	Skarn min	Astoria	1,7	7	5,2	0,6	1,3	0,16	1,1	0,31	0,11	0,7	0,13	1,13	0,22	0,73	0,08	0,65	0,08
HWZ01	HWZ Sediments	Gamble	2,2	128,9	13,9	35,4	74,3	8,62	31,5	5,52	1,26	4,31	0,56	2,89	0,54	1,69	0,24	1,51	0,22
FWZ01	FWZ Sediments	Cinderella	2	134,7	13,6	24,7	53,3	6,15	24,5	3,89	1,01	3,36	0,51	2,65	0,47	1,33	0,22	1,4	0,24
V13St011	Ultramafic rocks	Cinderella	0,9	22,2	4,7	0,7	1,6	0,2	0,9	0,3	0,16	0,61	0,13	1,05	0,21	0,69	0,1	0,55	0,09
V13St022	Ultramafic rocks	Augmitto	0,6	14,8	5,4	0,9	1,5	0,21	1,2	0,42	0,12	0,63	0,16	0,98	0,23	0,75	0,14	0,76	0,15

Sample	Lithology	Location	TOT/C	TOT/S	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	Hg	Tl	Se
			%	%	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPM	PPB	PPM	PPM	PPM
Yrb12-01	Ultramafic rocks	Gamble	5,88	0,06	<0,1	3,1	3,6	14	801,7	1356,2	<0,1	2,7	0,1	0,4	6023,3	<0,01	<0,1	<0,5
Yrb12-02	FWZ Sediments	Gamble	0,04	0,25	1,5	33,2	53,8	112	71,6	1378,4	0,3	0,6	0,2	0,2	203,3	<0,01	0,2	<0,5
Yrb12-03	Ultramafic rocks	Cinderella	7,34	0,32	0,3	40,5	1,9	9	683,3	1261,2	0,1	7,2	<0,1	<0,1	93,8	0,01	<0,1	<0,5
Yrb12-04	HWZ Sediments	Cinderella	0,43	1,34	1,8	91,8	21,3	5	56,8	>10000,0	<0,1	2,2	0,9	0,2	152,8	0,02	<0,1	0,8
Yrb12-05	Albitite dyke	Cinderella	3,72	1,18	0,2	34,2	678,4	11	215,2	>10000,0	0,1	4,2	21,4	10,7	18303	0,11	<0,1	1,5
Yrb12-06	Ultramafic rocks	Cinderella	3,02	0,06	<0,1	1,7	29,2	15	549,4	1080,6	<0,1	0,5	1	1,4	7865,5	0,05	<0,1	<0,5
Yrb12-07	Ultramafic rocks	Augmitto	6,21	0,08	<0,1	5	3,9	16	969,4	1884	<0,1	2,8	0,5	0,1	503,4	<0,01	<0,1	<0,5
Yrb12-08	Albitite dyke	Augmitto	1,8	1,12	0,2	72,4	10,7	4	33,7	>10000,0	<0,1	3,6	1,5	0,3	2554,9	0,02	<0,1	0,6
Yrb12-09	Ultramafic rocks	Augmitto	7,27	0,13	<0,1	21	2,1	26	1002,4	162,3	<0,1	0,3	<0,1	<0,1	13,7	0,01	<0,1	<0,5
Yrb12-10	HWZ Sediments	Augmitto	3,23	2,43	0,2	135	0,8	87	46,4	5188,7	<0,1	35,6	<0,1	<0,1	194,5	0,02	<0,1	<0,5
Yrb12-11	Ultramafic rocks	Astoria	0,22	0,03	<0,1	0,9	0,6	16	1042,6	4399,7	<0,1	2,2	0,6	0,2	1479,6	0,05	<0,1	<0,5
Yrb12-12	Ultramafic rocks	Astoria	0,23	8,51	2,3	1664,3	16,1	24	3332,2	>10000,0	<0,1	40,9	11,8	31,4	>100000,0	0,1	<0,1	7,6
Yrb12-13	FWZ Sediments	Astoria	0,04	0,21	0,2	7,4	1,2	23	669,2	3247,5	<0,1	1,4	0,3	<0,1	326,9	<0,01	<0,1	<0,5
N1CC01	Ultramafic rocks	Augmitto	3,88	0,25	<0,1	75,3	2	41	1685	114	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	89,8	<0,01	<0,1	<0,5

SK10020	Skarn St	Astoria	0,49	0,19	<0,1	159,8	4,3	66	892,1	905,2	0,2	4,7	<0,1	<0,1	23,2	<0,01	<0,1	<0,5
SK10027	Skarn min	Astoria	0,19	0,03	<0,1	2,7	1,2	12	708,2	1548,9	<0,1	1	0,3	<0,1	292,5	<0,01	<0,1	<0,5
HWZ01	HWZ Sediments	Gamble	0,43	0,14	1,6	50,3	11	65	108,1	44,2	0,1	0,7	0,2	<0,1	4,6	<0,01	<0,1	<0,5
FWZ01	FWZ Sediments	Cinderella	0,06	0,26	1,6	57,8	10,8	72	96,8	52,3	<0,1	1	0,3	0,1	38,3	<0,01	<0,1	<0,5
V13St011	Ultramafic rocks	Cinderella	2,79	<0,02	<0,1	1,5	0,5	20	419,9	2,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,9	<0,01	<0,1	<0,5
V13St022	Ultramafic rocks	Augmitto	0,03	0,05	<0,1	13,6	0,9	30	1401	12,4	<0,1	0,3	<0,1	<0,1	13	<0,01	<0,1	<0,5

Tableau 2: Résultats des analyses réalisées au LA-ICP-MS, après traitement, concernant les pyrites et arsénopyrites zonées.

Nom	Ana	Na	Si	Ca	Ti	V	Cr	Co	As	Se	Mo	Ag
Aspy-10	Ana10_3	151,45	1 642,88	372,22	0,00	0,00	52,11	711,06	169 935,40	1,46	2,23	0,16
Aspy-10	Ana10_5	143,75	5 390,70	3 234,42	57,24	5,39	73,67	662,29	165 828,20	1,16	2,46	0,00
Aspy-10	Ana10_6	125,78	14 888,60	15 658,70	10 268,00	34,65	143,75	759,83	166 598,30	1,69	5,60	0,46
Aspy-10	Ana10_7	143,75	34 911,20	25 156,60	326,01	34,65	166,86	806,04	157 357,10	1,82	9,06	2,03
Aspy-10	Ana10_8	110,38	24 386,50	15 402,00	0,00	19,00	118,08	741,86	169 422,00	2,41	9,29	1,51
Aspy-10	Ana10_9	292,64	4 081,53	641,75	0,00	0,85	40,05	667,42	164 288,00	1,36	2,36	0,87
Aspy-10	Ana10_11	141,19	34 654,50	23 873,10	410,72	34,65	189,96	906,15	165 828,20	1,31	8,98	0,40
Aspy-10	Ana10_12	872,78	7 187,60	1 565,87	41,33	0,00	51,85	690,52	174 042,60	0,00	1,69	0,00
Aspy-10	Ana10_17	141,19	14 375,20	9 010,17	73,67	12,84	83,94	764,97	175 326,10	1,44	11,81	0,12
Aspy-10	Ana10_19	246,43	44 665,80	27 723,60	143,75	47,49	236,16	901,02	166 598,30	1,67	5,47	0,42
Aspy-10	Ana10_21	102,68	10 524,70	5 904,10	36,96	6,93	63,40	770,10	168 651,90	1,21	8,98	1,13
Aspy-10	Ana10_22	195,09	35 424,60	21 562,80	87,28	26,95	118,34	852,24	156 843,70	1,62	9,47	0,80
Aspy-10	Ana10_23	169,42	21 049,40	11 038,10	130,92	21,82	116,03	713,63	159 924,10	0,92	13,09	0,51
Aspy-10	Ana10_24	269,54	12 578,30	6 930,90	35,94	9,75	89,85	793,20	158 127,20	2,95	18,74	0,19
Aspy-10	Ana10_25	277,24	32 600,90	17 712,30	79,58	25,16	177,12	788,07	179 690,00	2,31	26,18	0,56
Aspy-10	Ana10_26	187,39	32 600,90	19 509,20	65,72	24,90	164,29	806,04	161 207,60	1,67	13,09	0,56
Aspy-10	Ana10_27	361,95	45 435,90	28 493,70	136,05	38,51	182,26	818,87	164 031,30	0,00	10,78	0,58
Aspy-10	Ana10_28	770,10	10 781,40	3 876,17	17,46	4,39	56,99	852,24	171 475,60	2,23	23,87	0,51
Aspy-11	Ana11_1	21,36	6 949,50	142,38	13,90	0,00	64,07	718,68	303 066,00	4,10	0,09	2,47
Aspy-11	Ana11_3	14,58	1 830,60	(149,16)	18,65	0,00	62,04	271,20	314 592,00	4,95	0,05	2,81
Aspy-11	Ana11_4	474,60	11 865,00	(210,18)	135,60	34,24	70,51	779,70	277 641,00	4,44	0,17	2,31
Aspy-11	Ana11_6	339,00	11 187,00	(10,17)	81,36	23,73	64,41	806,82	283 065,00	5,39	0,01	0,00
Aspy-11	Ana11_8	522,06	13 899,00	274,59	111,87	35,26	74,58	749,19	285 099,00	4,98	0,04	4,14

Aspy-11	Ana11_10	138,99	983,10	(101,70)	35,60	0,00	45,09	694,95	306 795,00	4,14	0,03	2,71
Aspy-11	Ana11_11	30,85	3 491,70	67,80	20,34	0,00	49,83	674,61	312 897,00	4,51	0,00	2,27
Aspy-11	Ana11_12	34,24	4 034,10	(162,72)	14,92	0,00	56,95	657,66	303 744,00	3,59	0,07	0,00
Aspy-11	Ana11_19	44,07	5 424,00	949,20	27,12	24,07	42,71	277,98	256 284,00	4,27	0,09	13,56
Aspy-11	Ana11_20	24,41	(3 186,60)	406,80	15,59	1,22	48,82	111,87	296 625,00	3,19	0,00	17,63
Aspy-11	Ana11_21	22,04	(3 559,50)	(33,90)	15,26	1,42	49,83	73,22	304 083,00	4,31	0,09	7,42
Aspy-16	Ana16_1	336,84	(1 877,48)	176,70	0,00	11,60	135,29	121,48	167 868,80	1,02	0,02	0,00
Aspy-16	Ana16_2	242,97	(2 705,78)	2 181,19	66,26	3,87	80,35	248,49	201 276,90	1,57	0,09	0,00
Aspy-16	Ana16_3	91,11	(1 628,99)	450,04	21,54	2,65	58,53	204,31	191 889,50	2,29	55,22	0,05
Aspy-16	Ana16_4	96,64	(3 202,76)	1 684,21	55,22	1,49	48,32	29,27	186 919,70	1,19	48,87	0,00
Aspy-16	Ana16_5	63,50	607,42	201,55	26,51	1,02	47,49	39,76	181 949,90	2,21	10,49	0,00
Aspy-16	Ana16_6	311,99	5 383,95	1 518,55	79,79	11,04	100,50	215,36	183 054,30	1,74	2,13	0,10
Aspy-16	Ana16_7	74,55	(1 573,77)	773,08	23,74	1,99	46,94	35,34	186 919,70	1,10	10,22	0,03
Aspy-16	Ana16_8	88,35	(4 031,06)	245,73	24,30	0,77	45,00	19,33	191 613,40	1,71	4,86	0,06
Aspy-16	Ana16_9	60,74	745,47	499,74	0,00	1,74	49,70	146,33	185 815,30	1,60	2,87	0,05
Aspy-16	Ana16_10	19,05	(1 601,38)	118,72	13,89	0,42	42,80	27,61	192 993,90	1,08	0,52	0,00
Aspy-16	Ana16_11	17,67	(2 374,46)	179,47	15,08	0,33	44,73	8,28	190 509,00	1,08	0,21	0,02
Aspy-16	Ana16_12	27,33	(3 865,40)	173,94	14,25	0,29	38,93	9,11	184 710,90	1,05	0,06	0,03
Aspy-16	Ana16_13	41,42	414,15	251,25	16,29	0,52	47,21	8,01	186 643,60	1,05	0,04	0,02
Aspy-16	Ana16_14	14,08	(1 463,33)	121,48	12,98	0,00	42,52	4,20	190 232,90	0,69	0,03	0,00
Aspy-16	Ana16_15	12,70	(1 684,21)	146,33	13,25	0,28	42,24	3,70	182 778,20	0,69	0,14	0,00
Aspy-16	Ana16_16	34,79	(3 009,49)	298,19	17,95	0,58	40,59	7,45	190 232,90	0,83	0,04	0,00
Aspy-16	Ana16_17	21,54	773,08	276,10	13,25	0,31	44,45	17,39	185 539,20	0,72	0,02	0,00
Aspy-16	Ana16_18	27,33	(828,30)	220,88	15,74	0,86	47,21	40,86	188 852,40	0,91	0,02	0,00
Aspy-16	Ana16_19	33,96	(800,69)	231,92	16,57	0,44	42,80	107,68	183 330,40	0,80	0,01	0,00

Loll-10	Ana10_1	208,08	14 688,00	10 036,80	0,00	5,14	61,44	1 272,96	220 320,00	2,37	2,23	0,00
Loll-10	Ana10_2	107,71	1 468,80	220,32	95,47	1,79	49,20	1 395,36	340 272,00	1,03	0,49	0,00
Loll-10	Ana10_4	186,05	13 953,60	1 077,12	0,00	9,55	105,26	1 084,46	271 728,00	1,22	2,55	0,71
Loll-10	Ana10_13	112,61	5 875,20	2 203,20	159,12	0,00	68,54	1 370,88	269 280,00	2,91	6,36	0,00
Loll-10	Ana10_14	8 078,40	90 576,00	6 854,40	40,64	9,30	75,89	702,58	176 500,80	0,78	3,06	11,26
Loll-10	Ana10_15	225,22	17 136,00	2 545,92	100,37	4,41	66,10	1 272,96	180 417,60	2,23	16,16	905,76
Loll-10	Ana10_16	149,33	13 708,80	563,04	38,68	0,00	141,98	1 003,68	153 979,20	1,93	16,89	3,01
Loll-10	Ana10_18	7 099,20	26 928,00	2 448,00	15,91	0,00	47,74	1 331,71	249 696,00	3,87	0,37	0,00
Loll-10	Ana10_20	538,56	9 547,20	3 672,00	20,32	4,16	50,18	1 446,77	279 072,00	1,25	1,74	0,00
Py-11	Ana11_2	116,22	3 046,77	15,71	40,52	9,11	57,17	138,20	8 355,06	2,98	0,00	24,81
Py-11	Ana11_5	62,82	3 674,97	(9,42)	31,41	5,72	51,61	71,30	4 083,30	6,91	0,01	97,37
Py-11	Ana11_7	44,29	2 952,54	18,85	24,97	3,77	50,88	109,94	2 701,26	4,27	0,00	52,14
Py-11	Ana11_9	38,01	3 549,33	(6,28)	23,62	4,77	53,40	185,32	2 701,26	8,48	0,01	163,33
Py-11	Ana11_16	9,61	(157,05)	125,64	20,73	0,13	48,37	442,88	2 041,65	1,63	0,03	78,53
Py-11	Ana11_17	11,62	(125,64)	100,51	19,35	0,34	42,72	257,56	1 187,30	1,76	0,12	31,41
Py-11	Ana11_18	50,26	(34,55)	81,67	20,35	0,15	46,17	358,07	1 118,20	1,95	0,01	27,64
Py-12	Ana12_1	73,23	1 200,89	2 196,75	4 305,63	7,03	82,30	58,58	3 104,74	0,62	0,05	0,76
Py-12	Ana12_2	54,77	1 142,31	193,31	161,10	1,17	57,12	175,74	2 644,89	0,45	0,03	1,20
Py-12	Ana12_3	46,57	322,19	1 669,53	246,04	0,97	51,55	4,10	2 612,67	0,29	0,04	1,13
Py-12	Ana12_4	99,59	714,68	1 025,15	96,66	0,33	52,43	4,16	3 046,16	0,40	0,00	4,51
Py-12	Ana12_8	34,56	497,93	32,22	27,24	0,08	42,18	82,01	3 924,86	0,38	0,01	1,20
Py-12	Ana12_9	55,65	2 460,36	673,67	0,00	0,00	58,58	199,17	3 690,54	0,43	0,02	1,00
Py-12	Ana12_10	52,14	2 401,78	2 841,13	2 753,26	3,25	50,38	995,86	3 602,67	0,62	0,01	1,46
Py-12	Ana12_11	48,33	849,41	164,02	0,00	2,28	51,55	272,40	2 460,36	0,40	0,00	2,28
Py-12	Ana12_12	47,16	732,25	228,46	38,08	0,21	47,45	108,37	2 460,36	0,67	0,00	2,69
Py-12	Ana12_13	202,10	4 247,05	125,95	219,68	6,15	108,37	73,23	2 905,57	0,59	0,00	1,05

Py-12	Ana12_14	85,82	2 401,78	(11,72)	0,00	0,97	50,38	114,23	2 091,31	0,69	0,00	2,46
Py-12	Ana12_15	60,04	2 372,49	(29,29)	38,66	1,23	54,77	205,03	2 562,88	0,46	0,00	1,58
Py-12	Ana12_16	76,15	1 083,73	(11,72)	31,63	0,26	45,11	146,45	2 811,84	0,66	0,00	2,05
Py-12	Ana12_18	67,37	1 640,24	52,72	54,48	0,69	55,07	995,86	2 176,25	0,34	0,00	0,23
Py-12	Ana12_20	342,69	3 602,67	966,57	0,00	10,25	111,30	2 460,36	2 489,65	0,76	0,04	0,00
Py-12-Moy	Ana12_5	127,12	1 174,53	143,52	0,00	0,55	49,47	181,60	1 411,78	0,64	0,01	5,83
Py-12-Moy	Ana12_6	141,47	228,46	410,06	0,00	0,39	47,65	190,39	1 622,67	0,58	0,01	5,10
Py-12-Moy	Ana12_7	123,02	1 669,53	310,47	53,31	1,14	50,09	295,83	1 991,72	0,41	0,00	5,13
Py-12-Moy	Ana12_17	125,95	3 661,25	61,51	80,84	2,69	64,44	1 845,27	2 779,62	0,51	0,00	1,00
Py-12-Moy	Ana12_19	41,30	2 577,52	35,15	57,41	1,00	54,19	2 138,17	2 867,49	0,54	0,01	0,52
Py-13-Bord	Ana13_4	43,72	(1 487,64)	1 730,52	29,45	1,34	39,47	121,44	3 005,64	0,82	0,01	0,06
Py-13-Bord	Ana13_6	40,99	(273,24)	1 275,12	29,45	1,40	39,16	160,91	2 610,96	0,54	0,00	0,00
Py-13-Bord	Ana13_8	8,80	(2 580,60)	546,48	26,11	1,03	39,77	330,92	2 003,76	0,70	0,01	0,00
Py-13-Bord	Ana13_9	66,79	2 702,04	2 094,84	33,40	1,73	41,90	185,20	2 914,56	0,63	0,00	0,04
Py-13-Bord	Ana13_10	21,56	(212,52)	880,44	30,36	0,82	41,29	200,38	3 461,04	1,00	0,00	0,00
Py-13-Bord	Ana13_12	18,82	(3 400,32)	437,18	24,59	0,73	38,86	203,41	3 400,32	0,82	0,00	0,00
Py-13-Bord	Ana13_14	16,39	(1 639,44)	880,44	24,20	0,49	43,11	230,74	3 309,24	0,77	0,00	0,14
Py-13-Bord	Ana13_16	18,52	(1 001,88)	546,48	26,41	0,97	44,02	255,02	2 823,48	0,82	0,02	0,02
Py-13-Bord	Ana13_18	13,05	(1 396,56)	333,96	23,98	0,67	40,08	273,24	2 793,12	0,88	0,00	0,00
Py-13-Bord	Ana13_19	36,43	(364,32)	1 123,32	23,56	1,12	42,20	227,70	3 795,00	0,64	0,00	0,08
Py-13-Bord	Ana13_21	15,48	485,76	473,62	24,99	0,36	42,20	315,74	2 762,76	1,15	0,00	0,04
Py-13-Bord	Ana13_24	233,77	17 305,20	6 375,60	81,97	19,43	65,58	209,48	4 128,96	0,82	0,00	0,31
Py-13-Bord	Ana13_25	13,97	1 305,48	242,88	20,64	0,00	35,82	628,45	3 795,00	1,00	0,00	0,07
Py-13-Bord	Ana13_30	31,57	1 123,32	425,04	27,32	0,00	39,47	585,95	3 339,60	0,67	0,01	0,20
Py-13-Bord	Ana13_35	9,32	1 032,24	318,78	24,26	0,14	39,77	619,34	2 562,38	1,28	0,00	0,09
Py-13-	Ana13_1	7,59	(2 793,12)	36,43	28,84	0,00	41,90	227,70	1 769,99	0,67	0,02	0,01

Py-13-Cœur+	Ana13_31	18,82	(1 842,85)	728,64	20,92	0,22	38,56	443,26	2 459,16	0,88	0,01	1,18
Py-13-Cœur+	Ana13_32	29,15	698,28	1 305,48	24,59	0,23	38,25	576,84	2 944,92	0,58	0,00	1,24
Py-13-Cœur+	Ana13_33	41,29	151,80	2 003,76	20,92	0,13	40,38	130,55	1 754,81	0,63	0,01	0,00
Py-13-Cœur+	Ana13_34	60,72	(1 305,48)	1 669,80	20,89	0,15	37,95	170,02	1 973,40	0,60	0,00	1,91
Py-13-Cœur+	Ana13_36	78,94	850,08	1 669,80	22,77	0,21	38,86	321,82	1 457,28	0,74	0,04	2,64
Py-14-Incl	Ana14_4	112,63	18 872,80	12 784,80	103,50	0,00	90,10	167,42	1 704,64	0,40	0,00	0,00
Py-14-Incl	Ana14_6	39,57	6 301,08	2 587,40	38,66	4,57	65,45	185,68	1 400,24	0,49	0,00	0,00
Py-14-Incl	Ana14_13	821,88	6 696,80	831,01	176,55	23,13	277,00	81,88	1 308,92	0,43	0,06	0,00
Py-14-Incl	Ana14_15	1 856,84	18 872,80	4 566,00	343,97	60,88	700,12	65,45	1 044,09	0,18	0,01	0,00
Py-14-Incl	Ana14_29	1 826,40	292 224,00	286 136,00	581,40	277,00	365,28	54,49	1 674,20	1,19	0,40	0,00
Py-14-Incl	Ana14_32	544,88	368 324,00	395 720,00	459,64	280,05	700,12	43,53	1 552,44	0,00	1,43	0,00
Py-14-Incl	Ana14_33	39,88	19 786,00	18 264,00	44,75	49,31	85,23	44,44	1 704,64	1,28	0,00	0,14
Py-14-Incl	Ana14_40	63,92	85 232,00	97 408,00	158,29	194,82	246,56	57,53	663,59	2,62	0,02	0,00
Py-14-Incl	Ana14_41	100,45	42 007,20	42 311,60	71,53	53,88	94,36	343,97	694,03	0,70	0,03	0,00
Py-14-Incl	Ana14_42	191,77	200 904,00	231 344,00	490,08	258,74	882,76	42,31	1 305,88	2,01	0,15	0,00
Py-14-Pr	Ana14_1	1,67	1 795,96	(48,70)	24,53	0,08	72,75	174,73	998,43	0,55	0,01	0,00
Py-14-Pr	Ana14_2	3,07	2 374,32	191,77	26,88	0,09	68,49	115,67	974,08	0,79	0,01	0,00
Py-14-Pr	Ana14_3	1,98	4 322,48	70,01	24,44	0,05	64,53	100,15	700,12	0,67	0,02	0,00
Py-14-Pr	Ana14_5	0,03	3 257,08	155,24	24,60	0,05	58,44	80,97	602,71	0,71	0,00	0,00
Py-14-Pr	Ana14_7	1,43	152,20	85,23	23,44	0,18	57,84	80,67	639,24	1,16	0,00	0,00
Py-14-Pr	Ana14_8	4,23	943,64	343,97	25,87	0,24	59,05	124,80	194,82	0,85	0,22	0,25
Py-14-Pr	Ana14_9	3,10	1 156,72	194,82	24,78	0,11	56,92	114,76	541,83	0,72	0,09	0,03

Py-14-Pr	Ana14_10	3,68	3 135,32	188,73	25,30	1,92	65,14	104,71	258,74	0,82	0,01	0,00
Py-14-Pr	Ana14_11	2,53	(243,52)	219,17	22,50	0,17	49,31	88,58	197,86	0,81	0,06	0,00
Py-14-Pr	Ana14_12	3,23	499,22	234,39	24,29	0,14	46,88	70,93	105,32	0,72	0,17	0,73
Py-14-Pr	Ana14_14	1,49	1 613,32	316,58	24,53	0,11	48,40	65,75	79,45	0,70	0,22	0,16
Py-14-Pr	Ana14_16	7,34	1 156,72	216,12	23,16	0,25	46,57	49,92	1 266,30	0,57	0,00	0,09
Py-14-Pr	Ana14_17	24,66	2 922,24	1 826,40	30,44	3,07	63,01	310,49	885,80	0,05	0,03	0,07
Py-14-Pr	Ana14_18	9,47	(273,96)	307,44	23,50	0,25	47,58	35,92	1 001,48	0,91	0,02	0,00
Py-14-Pr	Ana14_19	669,68	4 566,00	669,68	188,73	18,87	161,33	59,05	1 339,36	0,40	0,02	0,00
Py-14-Pr	Ana14_20	45,66	4 992,16	1 187,16	34,40	2,50	60,58	286,14	837,10	0,31	0,06	0,00
Py-14-Pr	Ana14_21	7,31	2 252,56	298,31	25,08	0,39	47,18	28,00	1 092,80	0,87	0,01	0,00
Py-14-Pr	Ana14_22	44,44	5 174,80	3 957,20	39,27	4,57	50,83	255,70	654,46	0,70	0,05	0,00
Py-14-Pr	Ana14_23	8,74	2 009,04	410,94	25,42	0,34	48,40	216,12	1 369,80	0,77	0,07	0,00
Py-14-Pr	Ana14_24	243,52	1 217,60	1 430,68	0,00	0,00	70,01	225,26	587,49	0,34	0,00	0,00
Py-14-Pr	Ana14_25	16,74	547,92	660,55	24,17	0,56	42,62	213,08	1 473,30	0,75	0,03	0,07
Py-14-Pr	Ana14_26	15,52	672,72	371,37	23,38	0,37	42,01	158,29	1 406,33	0,91	0,21	0,04
Py-14-Pr	Ana14_27	5,72	2 252,56	404,85	23,16	0,21	38,66	90,41	1 260,22	0,94	0,05	0,00
Py-14-Pr	Ana14_28	8,83	2 435,20	389,63	24,60	0,42	42,62	94,36	907,11	0,73	0,02	0,00
Py-14-Pr	Ana14_30	60,88	974,08	544,88	42,62	2,01	52,97	231,34	751,87	0,35	0,02	0,00
Py-14-Pr	Ana14_31	3,41	(761,00)	298,31	24,72	0,64	45,36	35,01	417,03	1,07	0,33	0,00
Py-14-Pr	Ana14_34	13,70	669,68	611,84	23,26	0,45	32,08	133,94	1 031,92	1,23	0,00	0,06
Py-14-Pr	Ana14_35	7,37	(1 582,88)	365,28	24,96	0,52	33,79	97,41	1 649,85	0,65	0,00	0,00
Py-14-Pr	Ana14_36	17,96	(608,80)	627,06	40,49	0,94	32,57	112,63	1 573,75	0,52	0,00	0,00
Py-14-Pr	Ana14_37	8,22	(1 339,36)	350,06	22,89	0,30	29,83	124,80	1 512,87	0,98	0,00	0,00
Py-14-Pr	Ana14_38	6,24	365,28	761,00	24,81	0,32	35,01	709,25	2 100,36	0,49	0,00	0,05
Py-14-Pr	Ana14_39	6,24	0,00	264,83	23,71	0,52	28,61	359,19	1 345,45	0,79	0,01	0,10
Aspy-3	Ana3Mass1C_46					2,23	169,89	61,74	254 310,00	0,18	10,86	0,24

Aspy-3	Ana3Mass1C_47						2,58	166,74	45,15	246 120,00	0,31	10,86	0,11
Aspy-3	Ana3Mass1C_48						3,78	155,40	44,94	241 080,00	0,29	11,47	0,29
Aspy-3	Ana3Mass1C_49						2,67	149,31	32,13	237 930,00	0,30	10,69	0,22
Aspy-3	Ana3Mass1C_50						16,38	156,45	48,93	238 980,00	0,09	12,62	0,18
Aspy-3	Ana3Mass1C_52						1,26	149,73	73,92	235 620,00	0,33	12,60	0,22
Aspy-3	Ana3Mass1C_53						7,98	168,00	38,22	255 990,00	0,38	12,35	0,11
Aspy-3	Ana3Mass1C_56						2,46	150,36	35,07	229 950,00	0,39	11,53	0,04
Aspy-3	Ana3Mass1C_58						2,29	152,04	69,72	240 450,00	0,39	12,22	0,14
Aspy-3	Ana3Mass1C_61						5,88	159,39	159,60	228 060,00	0,36	13,40	0,95
Aspy-3	Ana3Mass1C_62						0,84	151,41	46,20	232 260,00	0,22	10,92	0,19
Aspy-3	Ana3Mass1C_63						1,66	141,12	84,00	229 110,00	0,36	10,21	0,33
Aspy-3	Ana2Mass1C_4						1,00	380,70	18,63	324 000,00	0,57	14,34	0,14
Aspy-3	Ana2Mass1C_13						0,92	334,80	4 860,00	297 000,00	0,49	13,77	5,32
Aspy-3	Ana2Mass1C_17						0,49	367,20	372,60	280 800,00	0,43	12,15	1,62
Aspy1-2	Ana2Mass1C_1						0,64	378,00	267,30	263 250,00	2,92	14,93	0,43
Aspy2-2	Ana2Mass1C_27						0,13	322,48	13,81	362 956,00	0,29	15,45	0,15
Aspy2-2	Ana2Mass1C_28						0,61	337,58	34,05	341 756,80	0,36	15,39	0,02
Aspy2-2	Ana2Mass1C_29						0,36	343,68	38,22	342 078,00	0,13	14,74	0,00
Aspy2-2	Ana2Mass1C_30						0,23	314,78	56,53	344 326,40	0,32	13,94	0,58
Aspy2-2	Ana2Mass1C_31						0,14	321,20	77,09	322 484,80	0,04	14,90	1,54
Bord-4	Ana4Mass1C_1						28,14	159,18	516,60	1 449,00	0,13	11,21	0,52
Bord-4	Ana4Mass1C_2						41,37	150,78	75,60	1 131,90	0,29	11,63	0,24
Bord-4	Ana4Mass1C_3						50,40	151,62	241,50	1 029,00	0,21	10,52	0,31
Bord-4	Ana4Mass1C_4						20,58	146,58	231,00	1 050,00	0,07	10,79	0,28
Bord-4	Ana4Mass1C_5						20,58	144,06	56,70	737,10	0,16	11,70	0,31
Bord-4	Ana4Mass1C_6						54,60	153,30	62,16	812,70	0,16	10,73	0,27

Bord-4	Ana4Mass1C_7								24,99	131,88	9,03	2 163,00	0,65	12,18	0,55
Bord-4	Ana4Mass1C_8								16,38	139,65	63,00	1 974,00	0,32	10,52	0,74
Bord-4	Ana4Mass1C_9								18,69	140,49	54,81	1 995,00	0,21	11,09	0,43
Bord-4	Ana4Mass1C_10								36,96	159,60	92,40	1 554,00	0,23	11,45	0,55
Bord-4	Ana4Mass1C_14								27,09	149,31	42,00	1 169,70	0,26	12,05	0,46
Bord-4	Ana4Mass1C_16								38,43	145,11	81,90	1 165,50	0,22	9,14	0,22
Bord-4	Ana4Mass1C_17								23,94	148,68	170,10	1 176,00	0,28	9,95	0,95
Bord-4	Ana4Mass1C_19								23,10	137,55	63,00	693,00	0,29	9,45	0,61
Bord-4	Ana4Mass1C_22								10,29	140,70	155,40	1 241,10	0,28	10,82	0,55
Bord-4	Ana4Mass1C_24								33,39	163,38	201,60	1 337,70	0,10	10,00	0,80
Bord-4	Ana4Mass1C_26								35,91	156,24	294,00	1 953,00	0,31	11,07	0,97
Bord-4	Ana4Mass1C_27								13,02	151,83	224,70	1 911,00	0,33	11,21	0,60
Bord-4	Ana4Mass1C_28								11,55	152,04	140,70	1 575,00	0,38	10,77	0,21
Bord-4	Ana4Mass1C_29								28,35	145,95	203,70	1 596,00	0,33	10,71	0,26
Bord-4	Ana4Mass1C_30								35,49	162,33	239,40	2 121,00	0,32	52,50	1,03
Bord-4	Ana4Mass1C_31								65,31	169,05	115,50	1 680,00	0,38	10,48	0,36
Bord-4	Ana4Mass1C_32								28,77	148,89	165,90	2 045,40	0,42	33,60	0,58
Bord-4	Ana4Mass1C_33								52,50	146,58	182,70	1 785,00	0,38	11,28	0,63
Bord-4	Ana4Mass1C_34								3,09	136,29	49,56	2 373,00	0,53	10,35	0,90
Bord-4	Ana4Mass1C_35								35,91	162,54	237,30	1 869,00	0,40	10,29	0,40
Bord-4	Ana4Mass1C_36								34,44	164,85	84,00	1 722,00	0,38	14,28	0,63
Bord-4	Ana4Mass1C_37								38,64	247,80	98,70	1 707,30	0,46	11,55	0,34
Bord-4	Ana4Mass1C_38								50,82	154,56	264,60	1 362,90	0,31	10,82	0,90
Bord-4	Ana4Mass1C_39								30,03	152,04	123,90	1 638,00	0,30	10,96	0,75
Cœur-4	Ana4Mass1C_11								1,91	163,80	2,58	118,02	0,51	10,06	1,74
Cœur-4	Ana4Mass1C_12								1,09	133,56	16,80	201,60	0,40	10,71	1,18

Cœur-4	Ana4Mass1C_13								1,55	150,57	1,26	48,72	0,29	11,05	1,60
Cœur-4	Ana4Mass1C_15								0,92	149,31	1,89	30,24	0,46	10,63	1,60
Cœur-4	Ana4Mass1C_18								0,86	137,76	2,79	47,04	0,49	10,12	2,33
Cœur-4	Ana4Mass1C_20								4,83	135,24	2,52	134,40	0,29	10,94	0,73
Cœur-4	Ana4Mass1C_21								0,56	144,48	0,47	155,40	0,51	11,57	0,55
Cœur-4	Ana4Mass1C_23								0,43	148,68	0,78	77,70	0,37	12,20	0,74
Cœur-4	Ana4Mass1C_25								31,92	127,89	52,08	882,00	0,33	9,74	0,64
Py102-2	Ana2Mass1C_2								0,44	380,70	0,10	1 841,40	0,22	11,23	0,27
Py102-2	Ana2Mass1C_3								2,05	1 431,00	0,23	2 000,70	0,30	13,45	0,27
Py102-2	Ana2Mass1C_5								0,36	348,30	1,76	2 187,00	0,34	9,64	0,22
Py102-2	Ana2Mass1C_6								0,68	448,20	0,34	1 949,40	0,33	11,42	0,31
Py102-2	Ana2Mass1C_7								0,46	367,20	2,70	1 900,80	0,24	11,07	0,21
Py102-2	Ana2Mass1C_8								0,43	356,40	0,73	2 089,80	0,34	12,91	0,19
Py102-2	Ana2Mass1C_9								0,44	394,20	3,35	2 538,00	0,31	12,61	0,22
Py102-2	Ana2Mass1C_10								0,36	375,30	0,33	2 019,60	0,32	12,69	0,30
Py102-2	Ana2Mass1C_11								0,43	383,40	0,57	2 195,10	0,31	12,93	0,29
Py102-2	Ana2Mass1C_12								0,36	364,50	0,57	1 865,70	0,25	12,18	0,22
Py102-2	Ana2Mass1C_14								0,35	340,20	0,64	1 976,40	0,25	13,07	0,16
Py102-2	Ana2Mass1C_15								0,33	315,90	0,62	2 065,50	0,35	11,56	0,22
Py102-2	Ana2Mass1C_16								0,52	332,10	0,70	1 852,20	0,19	13,50	0,28
Py102-2	Ana2Mass1C_18								0,55	380,70	0,89	2 195,10	0,27	14,69	0,33
Py102-2	Ana2Mass1C_19								0,46	353,70	0,32	2 227,50	0,31	12,88	0,22
Py102-2	Ana2Mass1C_20								0,36	353,70	1,30	2 243,70	0,40	11,23	0,36
Py102-2	Ana2Mass1C_21								0,37	355,59	2,73	2 081,70	0,30	12,37	0,25
Py102-2	Ana2Mass1C_22								0,39	335,07	0,49	1 692,90	0,25	12,29	0,08
Py102-2	Ana2Mass1C_23								0,45	351,00	0,35	1 930,50	0,39	11,85	0,22

Py102-2	Ana2Mass1C_24								0,25	344,25	0,19	1 668,60	0,22	11,96	0,19
Py102-2	Ana2Mass1C_25								0,20	272,70	0,38	1 390,50	0,26	11,21	0,25
Py102-2	Ana2Mass1C_26								0,46	268,38	1,16	1 479,60	0,24	13,01	0,19
Py3-2	Ana2Mass1C_32								0,19	255,15	57,51	3 931,20	1,73	12,18	1,27
Py3-2	Ana2Mass1C_33								0,30	258,39	175,50	3 105,00	1,01	12,91	1,32
Py3-2	Ana2Mass1C_34								0,25	245,43	361,80	4 077,00	1,19	13,01	1,16
Py3-2	Ana2Mass1C_35								0,20	264,33	124,20	2 889,00	0,81	11,53	0,68
Py3-2	Ana2Mass1C_36								0,22	266,76	183,60	4 260,60	2,00	13,04	1,19
Py3-2	Ana2Mass1C_37								0,19	275,94	97,20	2 781,00	1,16	13,01	0,62
Py3-2	Ana2Mass1C_38								0,22	255,15	0,73	2 214,00	0,23	11,45	0,26
Py3-2	Ana2Mass1C_39								0,18	264,33	30,51	1 998,00	0,54	12,66	0,81
Py3-2	Ana2Mass1C_40								0,20	278,10	118,80	3 753,00	1,42	14,36	1,00
Py3-2	Ana2Mass1C_41								0,18	271,89	278,10	4 455,00	1,46	13,88	1,38
Py3-2	Ana2Mass1C_42								0,32	269,19	45,90	2 100,60	0,56	12,66	0,81
Py3-2	Ana2Mass1C_43								0,20	252,45	116,10	2 251,80	1,07	13,55	0,43
Py3-2	Ana2Mass1C_44								0,11	270,81	70,20	2 070,90	0,82	12,47	0,44
Py3-2	Ana2Mass1C_45								0,26	243,27	367,20	2 872,80	1,00	13,18	1,17
Py3-2	Ana2Mass1C_46								0,28	270,00	135,00	2 808,00	0,83	12,91	0,81
Py3-2	Ana2Mass1C_47								0,30	234,90	31,86	2 808,00	1,16	12,85	0,71
Py3-2	Ana2Mass1C_48								0,21	235,98	229,50	2 646,00	0,68	11,88	0,43
Py3-2	Ana2Mass1C_49								0,59	272,70	108,00	2 781,00	0,55	13,20	0,57
Py3-2	Ana2Mass1C_50								0,22	259,74	31,32	2 621,70	0,93	13,69	0,90
Py3-2	Ana2Mass1C_51								0,37	255,69	159,30	2 313,90	0,59	13,58	0,38
Py3-2	Ana2Mass1C_52								0,16	245,70	48,06	2 608,20	0,90	12,20	0,46
Py3-2	Ana2Mass1C_53								0,38	230,85	83,70	2 046,60	0,62	12,20	0,53
Py3-2	Ana2Mass1C_54								0,18	236,25	97,20	2 619,00	1,54	12,56	0,45

Py3-2	Ana2Mass1C_55								0,25	265,41	494,10	3 701,70	0,95	13,04	0,75
Py3-2	Ana2Mass1C_56								0,22	242,73	129,60	3 013,20	1,04	15,07	0,70
Py3-2	Ana2Mass1C_57								0,41	241,11	216,00	2 565,00	0,69	13,26	0,38
Py3-2	Ana2Mass1C_58								0,45	221,40	189,00	3 429,00	0,69	13,26	1,08
Py3-2	Ana2Mass1C_59								0,39	234,63	477,90	3 969,00	0,79	13,66	0,76
Py3-2	Ana2Mass1C_60								0,38	237,06	132,30	3 618,00	1,01	12,80	0,69
Py3-2	Ana2Mass1C_61								0,62	241,38	23,49	2 602,80	1,13	15,34	0,38
Py3-2	Ana2Mass1C_62								0,36	207,36	48,33	2 673,00	1,32	12,42	0,60
Py3-2	Ana2Mass1C_63								0,25	205,20	12,96	2 259,90	0,81	12,10	0,43
Py3-2	Ana2Mass1C_64								0,23	216,00	29,70	1 949,40	1,11	12,96	0,46
Py3-2	Ana2Mass1C_65								0,40	197,10	186,30	2 783,70	1,40	11,88	1,65
Py3-2	Ana2Mass1C_66								0,15	211,41	108,00	3 069,90	1,37	13,80	0,65
Py3a-3	Ana3Mass1C_1								0,46	183,54	1,53	2 664,90	0,46	10,14	0,16
Py3a-3	Ana3Mass1C_2								0,20	180,60	1,81	2 698,50	0,46	10,40	0,16
Py3a-3	Ana3Mass1C_4								0,26	163,59	2,27	2 767,80	0,54	10,63	0,17
Py3a-3	Ana3Mass1C_7								8,61	179,55	71,40	1 722,00	0,22	10,27	0,25
Py3a-3	Ana3Mass1C_9								1,64	178,08	58,80	2 373,00	0,32	10,58	0,32
Py3a-3	Ana3Mass1C_11								0,66	171,78	10,50	2 786,70	0,52	10,50	0,26
Py3a-3	Ana3Mass1C_15								23,52	160,65	47,67	1 304,10	0,22	10,46	0,45
Py3a-3	Ana3Mass1C_16								0,31	162,33	0,48	1 060,50	0,32	9,77	0,18
Py3a-3	Ana3Mass1C_17								15,54	173,67	76,02	1 310,40	0,18	10,06	0,64
Py3a-3	Ana3Mass1C_19								22,68	163,17	50,40	2 058,00	0,20	10,27	0,24
Py3a-3	Ana3Mass1C_20								25,20	178,08	77,70	1 995,00	0,38	11,66	0,34
Py3a-3	Ana3Mass1C_21								0,46	162,96	1,41	1 995,00	0,51	10,48	0,21
Py3a-3	Ana3Mass1C_22								0,57	162,75	0,55	1 575,00	0,32	11,13	0,13
Py3a-3	Ana3Mass1C_23								0,64	174,51	0,65	1 425,90	0,35	10,35	0,18

Py3a-3	Ana3Mass1C_24								0,71	180,39	0,47	1 255,80	0,23	10,65	0,20
Py3a-3	Ana3Mass1C_25								0,67	160,44	0,65	1 554,00	0,30	10,42	0,16
Py3a-3	Ana3Mass1C_27								0,44	157,50	1,53	1 350,30	0,34	9,32	0,21
Py3a-3	Ana3Mass1C_29								0,53	161,28	0,54	1 383,90	0,39	10,82	0,17
Py3a-3	Ana3Mass1C_30								22,89	157,29	105,00	1 747,20	0,25	10,73	0,54
Py3a-3	Ana3Mass1C_32								1,32	158,55	0,34	1 302,00	0,38	10,37	0,27
Py3a-3	Ana3Mass1C_34								0,61	147,00	0,50	1 425,90	0,39	10,33	0,24
Py3a-3	Ana3Mass1C_36								1,79	161,28	1,05	2 121,00	0,47	9,91	0,36
Py3a-3	Ana3Mass1C_37								0,61	167,79	0,48	1 535,10	0,39	11,30	0,16
Py3a-3	Ana3Mass1C_38								0,75	172,62	0,55	1 436,40	0,35	9,91	0,23
Py3a-3	Ana3Mass1C_39								0,86	162,54	15,12	1 722,00	0,41	11,59	0,20
Py3a-3	Ana3Mass1C_40								0,48	164,01	1,24	2 496,90	0,50	9,68	0,33
Py3a-3	Ana3Mass1C_41								1,01	149,73	13,86	2 660,70	0,57	10,42	0,30
Py3a-3	Ana3Mass1C_42								1,20	161,07	7,77	2 343,60	0,51	11,17	0,31
Py3a-3	Ana3Mass1C_43								0,80	146,37	0,96	2 341,50	0,49	10,61	0,24
Py3a-3	Ana3Mass1C_44								0,82	175,98	2,25	2 574,60	0,46	12,31	0,34
Py3a-3	Ana3Mass1C_45								0,92	149,94	14,07	2 664,90	0,30	10,58	0,18
Py3a-3	Ana3Mass1C_51								1,76	138,39	11,13	3 066,00	0,62	10,73	0,19
Py3a-3	Ana3Mass1C_54								0,44	141,96	1,89	3 360,00	0,59	10,40	0,31
Py3a-3	Ana3Mass1C_55								0,39	154,14	1,58	3 234,00	0,66	11,15	0,36
Py3a-3	Ana3Mass1C_57								0,65	150,99	1,70	3 402,00	0,72	10,63	0,26
Py3a-3	Ana3Mass1C_59								1,97	150,36	3,78	3 528,00	0,79	11,05	0,18
Py3a-3	Ana3Mass1C_60								1,28	149,10	1,93	3 906,00	0,68	9,87	0,24
Py3a-3	Ana3Mass1C_64								2,81	155,40	28,14	1 236,90	0,43	11,76	0,23
Py3a-3	Ana3Mass1C_65								2,42	136,08	5,00	1 184,40	0,51	11,40	0,29
Py3b-3	Ana3Mass1C_3								5,67	173,04	19,32	2 400,30	0,47	11,26	0,31

Py3b-3	Ana3Mass1C_5							8,19	175,35	170,10	1 971,90	0,29	15,96	0,33
Py3b-3	Ana3Mass1C_6							24,99	186,48	191,10	2 016,00	0,21	9,79	0,39
Py3b-3	Ana3Mass1C_8							19,95	182,07	262,50	2 058,00	0,17	11,09	0,37
Py3b-3	Ana3Mass1C_10							6,93	171,78	94,50	2 079,00	0,32	11,00	0,24
Py3b-3	Ana3Mass1C_12							9,87	183,96	132,30	2 100,00	0,25	10,29	0,37
Py3b-3	Ana3Mass1C_13							39,90	161,91	220,50	1 449,00	0,16	9,64	0,35
Py3b-3	Ana3Mass1C_14							16,80	180,60	37,38	1 520,40	0,18	10,14	0,29
Py3b-3	Ana3Mass1C_18							2,73	181,23	33,60	1 887,90	0,29	10,35	0,37
Py3b-3	Ana3Mass1C_26							5,67	177,87	159,60	2 058,00	0,20	10,00	0,32
Py3b-3	Ana3Mass1C_28							3,99	156,03	155,40	1 932,00	0,15	9,91	0,29
Py3b-3	Ana3Mass1C_31							19,95	180,39	233,10	2 058,00	0,12	10,29	0,38
Py3b-3	Ana3Mass1C_33							11,55	167,37	212,10	2 037,00	0,24	11,03	0,31
Py3b-3	Ana3Mass1C_35							16,80	160,86	378,00	2 037,00	0,17	11,63	0,70
Aspy Bord-9	Ana91_1									916,81		0,63		0,00
Aspy Bord-9	Ana91_2									813,34		0,55		0,00
Aspy Bord-9	Ana91_3									980,03		0,83		0,00
Aspy Bord-9	Ana91_4									928,30		0,46		0,00
Aspy Bord-9	Ana91_5									859,33		0,63		0,00
Aspy Bord-9	Ana91_11									859,33		0,60		0,00
Aspy Bord-9	Ana91_12									844,96		0,43		0,00
Aspy Incl-1	Ana1Mass1C_15									176,39		1,20		0,59
Aspy Incl-1	Ana1Mass1C_16									272,60		1,08		0,35
Aspy Incl-1	Ana1Mass1C_19									182,80		0,75		0,33
Aspy Incl-1	Ana1Mass1C_21									130,52		1,03		0,11
Aspy Incl-1	Ana1Mass1C_23									317,49		1,03		1,02
Aspy Incl-1	Ana1Mass1C_25									128,92		1,03		1,44

[illegible]

Aspy Pr-1		Ana1Mass1C_77								9,88		0,83		0,00
Nom	Cd	Sn	Sb	Ba	W	Pb	Bi	Mn	Ni	S	Cu	Zn	Te	Au
Aspy-10	0,00	0,36	592,98	0,46	0,07	30,80	0,62	92,93	978,03	159 924,10	4,34	3,36	0,00	0,41
Aspy-10	0,00	0,30	369,65	0,80	0,15	29,01	1,75	213,06	503,13	156 073,60	3,29	3,88	0,00	0,20
Aspy-10	0,00	0,92	528,80	0,82	5,13	40,05	3,90	254,13	821,44	158 640,60	2,95	3,47	0,00	0,51
Aspy-10	0,00	0,31	562,17	1,75	0,47	74,70	10,45	770,10	731,60	151 196,30	5,08	10,01	0,49	1,05
Aspy-10	0,00	0,21	693,09	1,49	0,62	59,81	8,24	464,63	926,69	148 372,60	4,42	6,03	0,92	1,49
Aspy-10	0,00	0,11	685,39	21,31	0,00	30,03	2,08	85,48	767,53	173 015,80	3,11	1,93	0,46	3,00
Aspy-10	0,00	0,25	423,56	1,98	0,21	57,50	6,73	718,76	749,56	161 464,30	2,77	7,19	0,39	2,03
Aspy-10	0,00	0,31	562,17	30,80	0,00	33,88	2,21	91,90	623,78	162 747,80	3,72	3,70	1,39	12,84
Aspy-10	0,00	0,17	554,47	1,62	0,17	53,14	6,11	356,81	847,11	165 058,10	2,72	0,00	0,00	1,18
Aspy-10	0,00	0,26	605,81	3,65	0,16	60,84	7,75	872,78	880,48	162 747,80	5,90	10,52	0,00	0,95
Aspy-10	0,00	0,14	685,39	3,05	0,08	42,87	5,57	231,03	1 209,06	162 491,10	31,83	3,90	0,87	5,90
Aspy-10	0,00	0,19	639,18	6,93	0,25	69,05	8,06	687,96	1 062,74	160 950,90	48,77	7,37	0,00	3,59
Aspy-10	0,00	0,15	590,41	2,16	0,18	35,42	5,01	385,05	821,44	145 548,90	11,01	5,49	0,51	1,57
Aspy-10	0,00	0,21	1 006,26	25,67	0,00	45,95	2,59	236,16	1 193,66	151 966,40	3,59	5,11	1,39	1,64
Aspy-10	0,00	0,23	729,03	3,75	0,00	33,88	4,49	500,57	1 196,22	158 640,60	15,15	8,98	0,00	1,90
Aspy-10	0,00	0,24	698,22	5,39	0,31	42,61	6,14	575,01	849,68	164 801,40	6,11	7,26	0,59	0,95
Aspy-10	0,00	0,30	690,52	10,27	0,33	54,68	8,47	924,12	901,02	162 747,80	5,01	12,84	0,85	1,08
Aspy-10	0,00	0,00	1 001,13	14,63	0,00	32,86	3,62	174,56	2 926,38	159 924,10	3,13	2,21	0,95	3,54
Aspy-11	0,00	0,00	130,85	0,15	0,00	284,76	81,36	130,18	3 525,60	328 830,00	18,98	2,31	5,22	0,92
Aspy-11	0,00	0,00	116,96	0,24	0,00	311,88	49,83	123,74	2 983,20	301 032,00	3,97	1,63	3,22	0,64
Aspy-11	0,00	0,17	118,65	0,24	0,00	345,78	73,56	131,53	3 322,20	286 116,00	4,44	9,49	9,49	1,05
Aspy-11	0,00	0,17	122,72	0,47	0,00	1 050,90	113,90	137,30	3 423,90	296 625,00	2,41	11,53	11,73	1,12

Aspy-11	0,00	0,17	136,96	0,32	0,00	983,10	114,58	147,47	3 288,30	310 863,00	7,12	17,63	9,97	1,97	0,29
Aspy-11	0,00	0,16	114,24	0,15	0,00	515,28	62,72	106,79	3 152,70	275 946,00	115,26	5,76	7,42	0,61	0,00
Aspy-11	0,00	0,12	119,33	0,12	0,00	369,51	46,10	112,89	2 610,30	280 353,00	3 729,00	8,48	5,63	1,15	0,00
Aspy-11	0,00	0,00	116,28	0,28	0,00	210,18	74,24	114,58	1 932,30	269 166,00	339,00	5,90	5,76	0,00	1,08
Aspy-11	0,00	0,00	138,99	0,33	0,00	1 017,00	103,06	142,38	1 864,50	274 929,00	21,36	22,37	5,83	15,59	4,68
Aspy-11	0,00	0,00	117,97	0,07	0,00	362,73	94,92	95,60	2 305,20	288 828,00	2 474,70	4,17	6,64	20,68	3,76
Aspy-11	0,00	0,00	114,92	0,09	0,00	515,28	83,06	96,95	1 413,63	305 778,00	1 050,90	0,00	5,05	6,44	1,49
Aspy-16	0,00	0,14	107,40	9,94	0,00	1,85	6,63	124,52	392,06	188 024,10	9,28	3,87	5,80	0,35	0,00
Aspy-16	0,00	0,00	131,42	3,20	0,14	7,45	8,01	145,23	201,55	191 613,40	132,53	0,00	6,07	0,43	0,00
Aspy-16	0,00	0,12	248,49	0,80	0,13	5,05	8,56	143,57	508,02	197 687,60	7,92	4,69	12,42	0,34	0,00
Aspy-16	0,00	0,00	300,95	0,26	0,25	1,21	1,38	98,57	372,74	194 098,30	7,34	1,38	6,41	0,21	0,43
Aspy-16	0,00	0,00	251,25	0,05	0,10	0,91	1,16	109,34	218,12	183 330,40	8,01	1,77	12,42	0,24	0,34
Aspy-16	0,00	0,14	162,35	0,59	0,12	9,94	9,11	176,70	320,28	193 546,10	13,25	10,22	14,91	0,65	0,40
Aspy-16	0,00	0,00	206,25	0,18	0,11	3,04	2,40	101,60	122,59	187 748,00	9,94	1,49	9,47	0,18	0,38
Aspy-16	0,00	0,00	154,62	0,15	0,00	0,50	1,55	89,46	127,56	192 165,60	7,15	0,66	6,27	0,21	0,27
Aspy-16	0,00	0,08	141,09	0,22	0,00	2,29	2,79	103,26	237,45	196 859,30	10,74	1,57	14,08	0,35	0,47
Aspy-16	0,00	0,00	121,76	0,04	0,00	0,61	0,38	94,15	155,72	187 471,90	10,49	0,33	6,27	0,10	0,38
Aspy-16	0,00	0,00	97,74	0,09	0,00	0,29	0,53	87,25	135,01	191 889,50	8,28	2,21	4,28	0,13	0,33
Aspy-16	0,00	0,00	86,42	0,08	0,00	0,29	0,62	84,76	151,03	184 987,00	8,53	0,41	5,05	0,22	0,39
Aspy-16	0,00	0,00	75,10	0,27	0,00	0,43	0,69	91,11	164,56	196 307,10	10,88	1,16	1,91	0,20	0,33
Aspy-16	0,00	0,00	57,98	0,19	0,00	0,44	0,36	87,25	171,18	185 263,10	9,11	1,30	1,08	0,09	0,31
Aspy-16	0,00	0,07	63,50	0,10	0,00	0,39	0,41	87,25	190,51	192 717,80	9,17	0,64	1,19	0,06	0,40
Aspy-16	0,00	0,06	89,46	0,50	0,00	1,13	0,64	90,84	202,38	194 650,50	9,50	1,19	1,46	0,05	0,45
Aspy-16	0,00	0,06	106,30	0,25	0,00	0,61	0,46	94,15	199,34	191 613,40	9,97	4,97	1,27	0,09	0,33
Aspy-16	0,00	0,09	150,75	0,34	0,00	2,87	1,19	95,81	198,79	198 239,80	8,86	6,07	2,68	0,04	0,32

Aspy-16	0,00	0,05	173,39	0,52	0,00	2,02	0,83	85,31	188,85	193 270,00	9,58	2,43	4,00	0,05	0,25
Loll-10	0,00	0,28	408,82	195,84	0,00	40,39	5,14	190,94	8 568,00	95 472,00	4,04	4,41	0,78	107,71	0,07
Loll-10	0,00	0,16	146,88	6,29	0,00	22,28	1,74	100,37	8 812,80	45 532,80	3,35	1,40	1,25	308,45	0,09
Loll-10	0,00	0,32	291,31	13,46	0,00	31,58	3,13	538,56	12 484,80	78 336,00	3,99	0,00	1,13	53,86	0,22
Loll-10	0,00	0,18	369,65	10,77	0,14	42,35	4,28	129,74	7 833,60	97 920,00	39,17	3,48	0,95	36 720,00	3,92
Loll-10	0,00	0,81	731,95	1 077,12	0,21	70,26	8,00	225,22	979,20	161 568,00	21,79	9,30	0,00	200,74	0,54
Loll-10	0,00	0,18	624,24	318,24	0,15	60,96	8,08	173,81	4 651,20	148 838,40	636,48	4,72	0,64	11 260,80	2,69
Loll-10	0,00	0,21	548,35	66,10	0,00	43,08	3,84	235,01	2 815,20	135 619,20	24,48	8,81	0,64	88,13	0,24
Loll-10	0,00	0,37	438,19	10,28	0,00	48,96	3,82	141,98	6 217,92	93 024,00	100,37	0,00	0,00	2 203,20	0,51
Loll-10	0,00	0,36	352,51	11,75	0,11	32,80	4,01	215,42	8 568,00	68 544,00	8 568,00	0,00	0,71	612,00	0,44
Py-11	0,23	0,06	6,22	0,28	0,00	4 774,32	87,01	120,93	587,37	393 881,40	17,59	5,65	0,85	0,54	0,18
Py-11	0,66	0,07	6,60	0,18	0,00	20 102,40	270,13	116,85	326,66	373 779,00	50,26	5,65	1,38	0,61	0,14
Py-11	0,63	0,07	4,96	0,24	0,02	10 365,30	135,06	112,76	329,81	394 823,70	34,55	3,83	0,91	0,65	0,13
Py-11	0,79	0,09	8,79	0,20	0,00	20 102,40	367,50	114,65	436,60	386 971,20	12,88	5,72	1,51	1,10	0,00
Py-11	0,00	0,00	3,99	0,16	0,00	2 669,85	69,10	95,80	722,43	404 246,70	69,10	0,00	0,97	57,48	15,71
Py-11	0,00	0,00	3,74	0,09	0,00	376,92	31,41	88,58	571,66	371 894,40	37,69	0,00	0,75	50,57	6,38
Py-11	0,00	0,00	3,96	0,13	0,00	1 413,45	42,72	94,86	468,01	395 451,90	14,76	0,79	0,31	17,59	1,60
Py-12	0,00	0,52	30,46	1,05	3,49	193,31	8,79	158,17	45,99	344 450,40	13,18	1,64	0,25	4,51	0,00
Py-12	0,00	0,06	43,06	0,09	0,43	275,33	7,59	96,95	143,52	338 885,30	29,88	1,32	0,49	3,31	0,00
Py-12	0,00	0,00	50,96	0,59	0,00	292,90	3,60	104,27	29,58	330 977,00	16,99	0,73	0,00	3,13	0,00
Py-12	0,00	0,19	95,78	0,14	0,11	667,81	4,89	99,88	301,69	337 713,70	134,73	19,33	0,28	3,90	0,00
Py-12	0,00	0,10	55,65	0,06	0,00	366,13	2,69	85,23	366,13	335 370,50	51,55	0,00	0,00	1,82	0,00
Py-12	0,00	0,15	44,81	0,23	0,00	289,97	4,04	93,73	272,40	360 559,90	32,22	3,87	0,00	1,90	0,00
Py-12	0,00	0,36	63,27	0,16	0,00	401,27	11,01	89,04	808,40	333 320,20	52,72	2,14	0,48	1,90	0,00
Py-12	0,00	0,49	46,57	0,11	5,57	313,40	1,55	86,41	131,81	343 571,70	237,25	32,22	0,23	2,11	0,00
Py-12	0,00	0,17	65,02	0,11	0,00	468,64	11,13	81,72	427,63	348 258,10	164,02	22,26	0,88	2,87	0,00

Py-12	0,00	0,23	44,81	0,30	0,37	301,69	2,90	92,26	23,72	337 127,90	23,72	9,67	0,25	2,05	0,00
Py-12	0,00	0,17	67,95	0,47	0,00	468,64	12,13	83,77	345,62	324 240,30	140,59	9,37	1,00	2,46	0,13
Py-12	0,00	0,08	57,99	11,72	0,00	357,34	11,72	86,11	205,03	346 207,80	146,45	3,02	1,00	2,96	0,00
Py-12	0,00	0,00	79,08	0,23	0,00	459,85	5,57	78,50	175,74	344 450,40	166,95	2,02	0,51	3,43	0,00
Py-12	0,00	0,08	9,08	0,26	0,18	52,72	3,02	83,48	102,52	346 500,70	1 523,08	0,00	0,44	1,17	0,00
Py-12	0,00	0,19	2,67	0,14	0,00	7,03	2,20	79,08	363,20	331 269,90	12,30	8,49	0,44	0,00	0,00
Py-12-Moy	0,00	0,83	72,35	0,47	0,00	732,25	6,53	90,80	846,48	344 157,50	395,42	78,79	0,48	1,20	0,00
Py-12-Moy	0,00	0,63	91,97	0,31	0,26	811,33	6,33	87,49	729,32	338 299,50	380,77	43,64	0,33	1,32	0,00
Py-12-Moy	0,00	0,64	83,48	0,15	0,00	755,68	6,44	92,85	518,43	339 178,20	316,33	50,96	0,51	1,08	0,00
Py-12-Moy	0,00	0,07	30,46	0,11	0,21	184,53	5,33	82,60	298,76	352 651,60	161,10	3,57	0,54	1,38	0,00
Py-12-Moy	0,00	0,11	19,33	0,29	0,00	114,23	6,74	87,58	169,88	357 630,90	2 987,58	4,39	0,69	1,26	0,00
Py-13-Bord	0,00	0,00	20,34	0,19	0,00	85,01	5,77	123,26	409,86	343 068,00	17,00	2,67	0,32	2,13	0,00
Py-13-Bord	0,00	0,00	13,36	0,16	0,00	42,50	5,77	129,94	470,58	382 536,00	14,27	1,15	0,49	0,79	0,00
Py-13-Bord	0,00	0,00	3,46	0,10	0,00	9,72	3,95	96,24	622,38	346 711,20	27,02	0,00	0,18	0,00	0,00
Py-13-Bord	0,00	0,00	13,36	0,19	0,00	42,50	9,11	132,98	403,79	368 874,00	14,88	4,19	0,31	0,91	0,00
Py-13-Bord	0,00	0,00	7,89	0,06	0,00	24,59	5,46	118,10	510,05	353 997,60	14,57	3,34	0,31	1,00	0,00
Py-13-Bord	0,00	0,00	13,05	0,05	0,00	54,65	4,86	100,49	470,58	355 212,00	15,48	0,25	0,33	2,58	0,00
Py-13-Bord	0,00	0,00	13,97	0,07	0,00	69,83	3,70	106,56	537,37	351 872,40	13,36	0,46	0,22	1,49	0,00
Py-13-Bord	0,00	0,00	5,16	(0,01)	0,00	21,56	2,73	105,35	522,19	371 606,40	9,75	3,34	0,10	0,61	0,00
Py-13-Bord	0,00	0,00	3,67	0,05	0,00	10,32	1,37	97,15	455,40	342 460,80	9,32	2,00	0,19	0,52	0,00
Py-13-Bord	0,00	0,00	16,39	3,34	0,00	72,26	7,20	114,46	233,77	349 140,00	32,18	1,61	0,30	3,19	0,00
Py-13-Bord	0,00	0,00	2,94	0,06	0,00	11,23	2,22	99,88	555,59	352 783,20	12,75	0,70	0,25	0,64	0,00
Py-13-Bord	0,00	0,00	21,56	0,18	0,00	118,40	5,56	291,46	409,86	320 905,20	23,98	6,38	0,44	3,37	0,00
Py-13-Bord	0,00	0,00	3,76	0,05	0,00	23,07	6,68	83,79	801,50	321 208,80	15,48	0,67	0,52	2,22	0,00
Py-13-Bord	0,00	0,00	10,02	0,36	0,00	42,50	4,92	87,74	710,42	345 193,20	273,24	0,00	0,43	1,82	0,00
Py-13-Bord	0,00	0,00	1,15	0,01	0,00	2,46	5,95	89,56	844,01	394 680,00	8,20	0,82	0,46	0,07	0,00

Py-13- Cœur+	0,00	0,00	1,21	0,05	0,00	5,22	1,31	113,24	312,71	352 176,00	6,44	7,59	0,15	0,02	0,00
Py-13- Cœur+	0,00	0,00	3,46	0,07	0,00	5,01	2,31	148,76	428,08	358 855,20	7,86	4,55	0,31	0,10	0,00
Py-13- Cœur+	0,00	0,00	0,94	0,05	0,00	3,01	1,31	112,64	458,44	363 105,60	8,20	1,55	0,28	0,11	0,00
Py-13- Cœur+	0,00	0,00	6,38	0,29	0,00	5,77	3,10	110,81	658,81	356 426,40	227,70	0,00	0,46	0,01	0,00
Py-13- Cœur+	0,00	0,00	33,40	0,58	0,00	1,85	1,34	103,83	692,21	352 783,20	17,00	3,73	0,16	0,01	0,00
Py-13- Cœur+	0,00	0,00	1,67	0,20	0,00	4,04	1,21	100,19	883,48	355 515,60	13,18	2,85	0,24	0,01	0,00
Py-13- Cœur+	0,00	0,00	0,67	0,13	0,00	1,76	1,09	94,12	740,78	344 586,00	19,73	0,00	0,25	0,00	0,00
Py-13- Cœur+	0,00	0,00	0,67	0,17	0,00	2,52	2,37	98,06	862,22	360 069,60	17,31	1,00	0,32	0,00	0,00
Py-13- Cœur+	0,00	0,00	2,55	0,27	0,00	7,59	3,58	98,06	522,19	358 855,20	51,61	2,61	0,25	0,05	0,14
Py-13- Cœur+	0,00	0,00	35,22	0,82	0,00	227,70	3,80	151,80	121,44	345 193,20	42,81	3,43	0,33	0,46	0,00
Py-13- Cœur+	0,00	0,00	47,06	0,17	0,00	488,80	5,16	93,81	27,63	333 049,20	607,20	3,58	0,21	0,24	0,00
Py-13- Cœur+	0,00	0,00	58,29	0,11	0,00	549,52	0,43	86,83	36,43	356 122,80	206,45	1,58	0,20	0,33	0,00
Py-13- Cœur+	0,00	0,00	55,86	0,19	0,00	482,72	1,31	85,92	45,24	364 320,00	127,51	1,79	0,39	0,56	0,00
Py-13- Cœur+	0,00	0,00	23,38	0,12	0,00	279,31	5,83	80,15	510,05	347 622,00	72,86	2,03	0,56	2,13	0,00
Py-13- Cœur+	0,00	0,00	33,09	0,03	0,00	258,06	5,56	82,88	531,30	361 587,60	185,20	9,41	0,66	1,06	0,00

[illegible]

PV-14-Pr	0,00	0,00	0,33	0,09	0,00	0,07	0,73	120,24	502,26	343 058,80	426,16	1,64	1,40	0,00	0,07
PV-14-Pr	0,00	0,00	0,61	0,20	0,00	0,33	2,37	116,59	246,56	330 578,40	133,94	3,32	0,67	0,00	0,13
PV-14-Pr	0,00	0,00	0,31	0,03	0,00	0,09	0,70	109,89	200,90	332 100,40	22,53	0,66	0,32	0,00	0,10
PV-14-Pr	0,00	0,00	0,47	0,05	0,00	0,79	3,56	115,67	200,90	335 144,40	1 978,60	17,05	0,89	0,00	0,12
PV-14-Pr	0,00	0,00	0,20	0,06	0,00	0,12	1,89	111,71	155,55	329 360,80	426,16	0,00	0,32	0,00	0,10
PV-14-Pr	0,00	0,00	0,24	0,09	0,00	0,15	1,07	111,11	1 582,88	337 884,00	304,40	2,34	5,57	0,13	0,00
PV-14-Pr	0,00	0,00	2,01	0,23	0,00	3,59	7,31	124,20	167,42	368 324,00	6,82	4,14	0,42	0,00	0,00
PV-14-Pr	0,00	0,00	0,76	0,58	0,00	1,10	5,17	105,02	1 248,04	326 012,40	5 174,80	0,00	10,38	0,26	0,23
PV-14-Pr	0,00	0,00	1,37	0,27	0,00	5,39	7,31	102,89	316,58	337 884,00	4,26	7,61	0,73	0,00	0,00
PV-14-Pr	0,00	0,00	13,39	0,48	0,00	11,87	6,70	125,72	164,38	356 148,00	112,63	5,63	0,37	0,16	0,20
PV-14-Pr	0,00	0,00	0,61	(0,02)	0,00	0,16	0,31	99,54	1 126,28	366 193,20	31,35	1,19	8,52	0,07	0,13
PV-14-Pr	0,00	0,14	12,78	0,55	0,00	4,81	5,94	114,15	106,54	328 752,00	10,96	2,53	0,62	0,09	0,19
PV-14-Pr	0,00	0,00	2,01	0,15	0,00	2,37	1,31	98,93	815,79	357 974,40	14,61	1,07	2,22	0,10	0,19
PV-14-Pr	0,00	0,00	1,07	0,24	0,00	1,19	3,10	95,58	118,72	343 972,00	7,31	0,00	0,35	0,00	0,00
PV-14-Pr	0,00	0,00	2,04	0,19	0,00	49,31	7,98	95,89	459,64	356 452,40	5,66	2,56	1,03	0,16	0,15
PV-14-Pr	0,00	0,00	1,74	0,19	0,00	12,18	7,40	94,97	453,56	348 233,60	7,06	1,52	1,07	0,08	0,12
PV-14-Pr	0,00	0,00	0,40	0,09	0,00	0,91	0,53	95,58	450,51	337 275,20	33,48	0,61	0,88	0,00	0,12
PV-14-Pr	0,00	0,00	1,19	0,73	0,00	4,08	3,07	98,02	280,05	348 842,40	13,39	1,31	1,07	0,00	0,12
PV-14-Pr	0,00	0,00	0,38	0,06	0,00	1,03	2,34	94,67	176,55	356 148,00	7,00	1,46	0,23	0,00	0,00
PV-14-Pr	0,00	0,00	0,38	0,06	0,00	0,80	1,13	86,45	337,88	350 364,40	13,70	0,70	0,82	0,00	0,00
PV-14-Pr	0,00	0,00	1,58	0,37	0,00	11,26	5,42	88,28	386,59	351 582,00	106,54	3,10	0,86	0,00	0,12
PV-14-Pr	0,00	0,00	0,91	0,21	0,00	3,29	1,98	87,67	575,32	349 755,60	42,01	1,34	0,61	0,00	0,08
PV-14-Pr	0,00	0,00	1,13	0,18	0,00	1,46	1,58	88,28	468,78	360 714,00	6,21	0,88	0,40	0,12	0,14
PV-14-Pr	0,00	0,00	0,97	0,19	0,00	4,63	2,59	88,28	395,72	343 058,80	17,66	1,22	0,49	0,20	0,09
PV-14-Pr	0,00	0,00	1,64	0,07	0,00	12,48	3,84	85,23	572,27	365 584,40	2 739,60	3,50	0,64	0,00	0,18
PV-14-Pr	0,00	0,00	1,61	0,55	0,00	5,78	4,05	89,19	453,56	352 799,60	7 610,00	0,00	1,00	0,00	0,33

Aspy-3							23,73	4,62	611,60	352,00	161 260,00	3,59	2,79	11,44	0,17
Aspy-3							46,20	4,62	567,60	246,40	155 540,00	2,97	2,60	6,45	0,11
Aspy-3							48,93	6,41	545,60	270,60	145 420,00	4,40	2,40	10,12	0,13
Aspy-3							30,87	8,19	576,40	222,20	149 600,00	4,80	3,56	3,78	0,20
Aspy-3							23,31	7,35	547,80	266,20	151 140,00	4,75	2,84	2,27	0,11
Aspy-3							18,48	2,16	589,60	338,80	162 140,00	4,18	1,76	2,31	0,09
Aspy-3							20,79	5,25	605,00	363,00	161 700,00	4,33	2,90	7,70	0,15
Aspy-3							18,06	1,91	530,20	510,40	142 780,00	2,75	1,98	4,14	0,09
Aspy-3							20,58	3,32	591,80	594,00	157 300,00	3,54	2,42	3,32	0,08
Aspy-3							89,88	35,28	600,60	550,00	148 280,00	4,55	5,08	6,16	0,37
Aspy-3							23,31	3,99	624,80	585,20	153 560,00	4,53	2,40	0,75	0,14
Aspy-3							32,55	2,04	552,20	459,80	147 180,00	3,78	3,10	1,65	0,00
Aspy-3							14,07	0,76	950,40	1 944,00	190 620,00	3,00	2,35	74,25	0,00
Aspy-3							28,89	10,80	861,30	1 377,00	209 250,00	4,32	1,78	178,20	15,39
Aspy-3							20,25	3,78	882,90	688,50	199 800,00	1,73	2,35	194,40	6,67
Aspy1-2							13,50	1,76	942,30	623,70	175 230,00	4,83	2,70	4 995,00	0,00
Aspy2-2							39,83	9,31	860,82	321,20	215 846,40	3,28	1,80	0,10	0,00
Aspy2-2							20,88	10,60	873,66	443,26	218 737,20	3,05	2,44	0,32	0,00
Aspy2-2							20,24	8,03	889,72	497,86	223 555,20	3,37	1,83	0,55	0,00
Aspy2-2							163,81	11,24	941,12	465,74	228 052,00	2,73	1,09	6,10	0,00
Aspy2-2							208,78	19,91	815,85	568,52	205 568,00	2,83	2,54	9,64	0,00
Bord-4							17,64	11,34	616,00	415,80	245 300,00	11,66	3,32	0,46	0,00
Bord-4							16,17	8,40	596,20	281,60	257 840,00	14,52	2,75	0,26	0,11
Bord-4							16,17	6,70	556,60	253,00	228 800,00	12,32	4,00	0,00	0,05
Bord-4							14,91	5,90	629,20	264,00	233 640,00	10,16	2,33	0,02	0,03
Bord-4							13,02	5,67	576,40	178,20	248 600,00	13,20	1,80	0,13	0,01

Bord-4						3,19	15,54	7,79	618,20	184,80	243 540,00	11,66	2,64	0,00	0,04	
Bord-4						5,54	38,43	14,91	591,80	228,80	233 200,00	12,54	2,57	0,68	0,51	
Bord-4						5,40	105,00	16,38	589,60	415,80	231 880,00	13,42	1,87	0,81	0,55	
Bord-4						2,86	15,67	10,71	596,20	651,20	245 740,00	10,34	2,49	0,00	0,08	
Bord-4						3,59	17,85	17,01	554,40	396,00	249 260,00	18,48	4,09	0,40	0,09	
Bord-4						3,72	13,02	6,17	585,20	424,60	233 420,00	19,14	6,16	0,40	0,05	
Bord-4						4,10	17,85	8,19	569,80	338,80	237 600,00	15,62	4,05	0,00	0,02	
Bord-4						3,65	109,20	10,29	598,40	442,20	232 320,00	37,40	17,60	0,37	0,15	
Bord-4						2,84	73,50	10,71	552,20	191,40	222 420,00	21,56	44,00	1,03	0,17	
Bord-4						3,26	29,82	9,66	552,20	393,80	221 760,00	24,42	2,95	0,29	0,24	
Bord-4						3,76	45,99	10,92	558,80	424,60	238 480,00	12,98	2,86	0,55	0,25	
Bord 4						5,80	60,90	27,51	574,20	563,20	246 400,00	12,76	4,66	0,35	0,19	
Bord-4						3,76	29,19	7,56	598,40	664,40	253 880,00	39,60	1,94	0,00	0,14	
Bord-4						1,85	11,55	3,30	556,60	517,00	237 820,00	11,66	1,85	0,40	0,04	
Bord-4						3,02	15,75	8,19	567,60	433,40	251 460,00	15,40	3,59	0,15	0,07	
Bord-4						2,77	18,48	19,32	576,40	679,80	243 760,00	13,86	3,96	0,37	0,16	
Bord-4						5,50	27,30	26,04	563,20	534,60	253 220,00	16,06	5,19	1,21	0,14	
Bord-4						2,56	19,11	18,90	565,40	565,40	244 200,00	10,78	3,74	0,51	0,17	
Bord-4						3,57	39,48	16,38	565,40	495,00	233 860,00	14,74	8,14	0,15	0,14	
Bord-4						1,37	84,00	12,18	609,40	611,60	248 600,00	10,34	1,14	0,73	0,09	
Bord-4						2,42	18,69	13,23	565,40	376,20	235 400,00	33,00	3,78	0,42	0,10	
Bord-4						3,53	24,78	14,70	607,20	345,40	237 820,00	12,98	4,22	0,79	0,14	
Bord-4						4,89	22,26	34,44	563,20	297,00	240 020,00	30,80	5,32	1,01	0,25	
Bord-4						3,53	31,08	30,24	561,00	365,20	220 880,00	12,10	5,39	0,00	0,25	
Bord-4						4,85	31,50	15,75	572,00	521,40	235 840,00	31,24	2,90	0,24	0,15	
Cœur-4						5,90	134,40	12,39	607,20	19,58	246 180,00	25,30	92,40	0,13	0,49	

Cœur-4						77,70	10,29	558,80	28,60	244 200,00	23,10	371,80	0,20	0,38
Cœur-4						98,70	14,70	554,40	9,53	236 280,00	55,00	825,00	0,37	0,36
Cœur-4						48,72	15,62	572,00	14,30	246 400,00	33,00	946,00	0,51	0,51
Cœur-4						298,20	21,84	576,40	16,28	233 420,00	24,64	325,60	1,19	0,37
Cœur-4						83,58	7,14	565,40	6,60	246 400,00	15,40	198,00	0,57	0,24
Cœur-4						47,04	3,59	572,00	2,86	242 220,00	24,20	160,60	0,33	0,28
Cœur-4						41,37	2,77	543,40	3,41	246 400,00	14,52	70,40	0,46	0,10
Cœur-4						65,52	14,49	517,00	237,60	217 800,00	79,20	3,63	0,46	0,27
Py102-2						4,40	0,11	877,50	7,83	272 430,00	4,24	0,00	1,05	0,19
Py102-2						4,94	0,05	963,90	66,96	308 610,00	7,91	1,22	1,00	0,16
Py102-2						8,72	0,35	888,30	5,67	280 800,00	12,15	0,43	0,86	0,32
Py102-2						5,59	0,06	936,90	102,60	305 100,00	9,18	0,46	1,16	0,15
Py102-2						6,16	0,39	834,30	10,80	290 250,00	6,37	0,78	1,00	0,00
Py102-2						6,72	0,34	820,80	3,94	280 260,00	14,58	0,43	0,00	0,16
Py102-2						4,70	0,21	845,10	426,60	290 520,00	7,32	0,57	0,92	0,12
Py102-2						7,16	0,29	847,80	5,56	305 100,00	6,86	0,70	0,65	0,11
Py102-2						10,02	0,94	893,70	4,86	309 960,00	16,47	0,32	1,03	0,16
Py102-2						6,80	0,92	831,60	7,37	291 600,00	6,72	1,24	0,92	0,14
Py102-2						9,21	0,86	772,20	7,56	292 140,00	24,30	0,70	0,73	0,15
Py102-2						7,56	0,26	756,00	2,00	280 260,00	9,40	0,24	0,08	0,16
Py102-2						8,64	0,24	799,20	15,66	275 400,00	12,15	1,00	0,92	0,00
Py102-2						5,89	0,33	912,60	10,80	305 640,00	7,83	0,69	0,24	0,00
Py102-2						7,45	0,51	772,20	3,16	281 340,00	8,24	0,57	0,14	0,24
Py102-2						7,99	2,94	812,70	4,78	291 600,00	12,23	0,76	0,97	0,30
Py102-2						7,97	2,03	869,40	5,59	295 920,00	9,99	0,46	1,49	0,33
Py102-2						7,37	0,26	777,60	3,51	299 430,00	7,86	0,59	0,89	0,14

Py102-2						11,23	0,45	826,20	8,86	293 490,00	9,29	0,73	0,24	0,09	
Py102-2						5,70	0,14	764,10	2,73	290 520,00	5,70	0,35	0,73	0,14	
Py102-2						7,48	0,20	696,60	6,62	285 660,00	9,53	2,05	0,00	0,11	
Py102-2						6,21	0,43	718,20	7,40	286 740,00	11,56	0,57	0,00	0,10	
Py3-2						99,90	81,00	691,20	144,18	295 920,00	22,41	0,43	1,59	6,40	
Py3-2						145,80	83,97	720,90	594,00	286 740,00	14,04	0,38	3,48	2,57	
Py3-2						68,85	68,31	756,00	891,00	308 880,00	13,23	0,57	4,05	2,51	
Py3-2						39,15	28,89	726,30	197,10	296 730,00	42,12	0,59	0,11	2,84	
Py3-2						96,39	55,35	707,40	383,40	313 740,00	12,74	0,57	1,67	5,48	
Py3-2						43,74	26,73	718,20	310,50	294 840,00	32,67	0,68	0,00	1,89	
Py3-2						5,86	0,26	750,60	334,80	317 250,00	8,64	0,81	0,00	0,09	
Py3-2						83,70	38,34	739,80	67,50	293 490,00	18,36	0,65	1,24	1,76	
Py3-2						75,33	52,38	720,90	245,70	306 720,00	12,96	0,84	1,76	3,59	
Py3-2						95,04	89,64	780,30	685,80	295 110,00	18,36	0,32	2,67	4,83	
Py3-2						53,46	57,51	664,20	132,30	294 840,00	11,04	0,57	1,30	1,35	
Py3-2						30,78	29,70	715,50	259,20	291 600,00	12,15	0,86	0,00	1,17	
Py3-2						27,54	26,73	804,60	157,41	295 650,00	11,93	0,43	1,05	1,59	
Py3-2						56,16	62,91	666,90	221,40	286 200,00	16,01	0,89	2,57	2,08	
Py3-2						46,98	61,56	739,80	361,80	318 600,00	12,96	0,76	2,35	2,16	
Py3-2						44,28	49,95	712,80	108,00	278 370,00	20,25	0,95	0,51	2,89	
Py3-2						42,93	33,21	731,70	140,40	295 920,00	15,66	0,41	0,51	2,94	
Py3-2						25,92	41,31	715,50	442,80	294 300,00	8,10	1,57	0,92	1,13	
Py3-2						49,41	46,44	788,40	170,10	312 660,00	27,27	0,32	0,19	3,16	
Py3-2						30,24	30,24	731,70	234,90	293 760,00	10,26	0,76	0,97	1,40	
Py3-2						34,83	33,21	726,30	359,10	300 510,00	13,50	0,22	0,30	1,59	
Py3-2						43,47	32,94	645,30	153,36	285 390,00	18,36	0,35	0,00	1,24	

Py3-2						5,75			43,74	51,84	699,30	189,00	280 530,00	12,91	0,62	0,14	2,32	
Py3-2						6,16			54,54	67,77	702,00	702,00	300 240,00	11,26	0,62	2,21	2,32	
Py3-2						5,70			39,15	56,97	704,70	237,60	292 410,00	12,45	0,65	0,92	2,62	
Py3-2						1,40			19,98	14,31	712,80	315,90	281 880,00	11,34	0,97	0,43	1,38	
Py3-2						5,40			66,96	56,70	715,50	615,60	311 580,00	29,43	4,59	1,16	2,16	
Py3-2						2,67			40,77	28,08	710,10	823,50	308 070,00	13,77	0,78	0,97	1,97	
Py3-2						3,27			29,97	34,83	737,10	648,00	309 960,00	12,42	0,59	0,35	2,92	
Py3-2						2,62			24,03	24,84	731,70	33,75	317 250,00	14,04	0,57	0,27	1,73	
Py3-2						2,40			15,12	21,87	650,70	75,60	284 850,00	9,96	0,54	0,81	2,16	
Py3-2						4,78			29,43	38,61	634,50	91,80	284 850,00	11,07	1,08	0,84	1,70	
Py3-2						1,24			12,77	8,88	723,60	135,00	305 910,00	9,86	0,35	0,00	1,05	
Py3-2						4,64			116,10	58,05	666,90	369,90	288 630,00	26,19	0,95	3,29	1,62	
Py3-2						8,61			51,30	76,95	680,40	264,60	308 880,00	15,93	0,68	2,70	2,73	
Py3a-3						0,16			3,32	0,84	629,20	88,00	253 440,00	3,67	0,77	0,00	0,33	
Py3a-3						0,09			3,07	0,15	624,80	105,60	247 280,00	4,69	0,70	0,00	0,21	
Py3a-3						0,09			5,57	0,25	596,20	90,20	242 660,00	4,53	0,52	0,04	0,39	
Py3a-3						2,50			14,70	10,50	635,80	154,00	259 160,00	8,36	2,71	0,00	0,12	
Py3a-3						1,07			7,35	1,70	591,80	138,60	256 520,00	5,85	0,81	0,00	0,18	
Py3a-3						0,69			11,55	1,66	602,80	103,40	255 200,00	5,63	1,25	0,20	0,15	
Py3a-3						4,07			28,14	17,64	620,40	134,20	245 520,00	9,68	5,15	0,26	0,07	
Py3a-3						1,05			6,93	0,57	598,40	1,78	252 780,00	7,00	0,84	0,42	0,06	
Py3a-3						3,47			33,81	22,05	620,40	297,00	256 960,00	7,92	3,10	0,81	0,10	
Py3a-3						2,14			16,38	14,07	598,40	171,60	239 800,00	8,98	3,76	0,86	0,27	
Py3a-3						5,57			24,57	24,78	594,00	299,20	253 880,00	8,82	5,90	0,88	0,22	
Py3a-3						0,07			4,49	0,57	622,60	48,40	253 660,00	4,71	0,77	0,79	0,33	
Py3a-3						0,09			4,26	0,39	616,00	2,66	246 620,00	5,70	0,68	0,33	0,15	

Py3a-3							0,00			4,14	0,32	594,00	5,50	256 740,00	5,43	0,53	0,51	0,22	
Py3a-3							0,01			3,30	0,22	613,80	3,08	254 760,00	5,87	0,81	0,81	0,09	
Py3a-3							0,04			3,05	0,26	572,00	2,77	247 280,00	6,51	0,99	0,73	0,22	
Py3a-3							0,01			3,40	0,15	561,00	1,69	255 200,00	5,48	0,86	0,77	0,15	
Py3a-3							0,01			7,35	0,17	552,20	3,15	251 680,00	5,79	1,01	0,73	0,05	
Py3a-3							3,51			28,98	13,13	578,60	578,60	237 160,00	20,46	5,06	1,21	0,04	
Py3a-3							0,01			11,91	0,22	545,60	2,27	235 400,00	6,91	0,79	0,73	0,19	
Py3a-3							0,00			22,89	0,39	569,80	1,14	246 400,00	4,95	0,92	1,19	0,09	
Py3a-3							0,53			36,12	3,15	585,20	56,98	246 400,00	5,85	0,73	1,10	0,65	
Py3a-3							0,05			15,48	0,36	594,00	1,80	252 120,00	6,56	0,88	0,77	0,21	
Py3a-3							0,01			44,73	0,87	574,20	3,08	238 700,00	6,25	1,01	0,97	0,15	
Py3a-3							0,14			19,32	3,78	569,80	10,56	259 600,00	5,17	1,17	1,28	0,12	
Py3a-3							0,13			47,67	1,18	580,80	184,80	255 420,00	6,42	0,90	0,97	0,40	
Py3a-3							0,48			32,76	1,72	528,00	354,20	228 140,00	6,45	1,08	1,47	0,31	
Py3a-3							1,16			9,89	0,76	569,80	48,40	262 020,00	6,14	1,01	1,17	0,07	
Py3a-3							0,71			35,91	0,46	558,80	48,18	242 660,00	6,80	1,19	0,84	0,09	
Py3a-3							0,42			8,27	0,50	576,40	41,80	257 620,00	7,48	1,28	0,90	0,32	
Py3a-3							0,31			6,05	0,36	561,00	129,80	251 680,00	6,14	0,68	0,86	0,17	
Py3a-3							0,33			4,03	0,30	539,00	204,60	232 100,00	6,64	1,54	1,36	0,19	
Py3a-3							0,69			4,54	0,24	508,20	145,20	218 680,00	6,12	0,75	3,48	0,35	
Py3a-3							0,49			4,35	0,20	547,80	248,60	243 540,00	5,30	0,95	2,29	0,31	
Py3a-3							0,63			4,73	0,21	583,00	283,80	250 800,00	6,34	0,75	2,60	0,36	
Py3a-3							0,41			3,53	0,21	545,60	310,20	234 080,00	6,53	0,92	2,55	0,41	
Py3a-3							0,82			3,51	0,22	594,00	310,20	241 780,00	6,62	1,06	3,04	0,44	
Py3a-3							0,27			4,96	0,97	613,80	37,18	262 460,00	6,18	2,27	0,88	0,00	
Py3a-3							0,35			4,41	0,25	565,40	43,12	252 560,00	6,82	2,77	0,18	0,00	

Py3b-3			1,47		23,31	7,54	622,60	46,20	261 360,00	7,55	2,00	0,11	0,31	
Py3b-3			1,60		6,41	7,14	613,80	277,20	247 280,00	6,82	3,32	0,46	0,07	
Py3b-3			4,96		28,14	18,90	585,20	499,40	242 000,00	7,15	3,50	0,31	0,34	
Py3b-3			2,29		11,13	7,77	642,40	404,80	254 980,00	7,52	4,44	0,00	0,07	
Py3b-3			0,99		9,45	4,83	613,80	336,60	257 400,00	6,78	2,13	0,00	0,07	
Py3b-3			0,71		5,65	6,51	646,80	473,00	253 440,00	6,05	1,72	0,09	0,03	
Py3b-3			4,39		24,57	9,98	574,20	391,60	238 040,00	12,10	2,66	0,00	0,09	
Py3b-3			3,80		20,79	11,76	587,40	305,80	248 380,00	7,66	3,39	0,09	0,14	
Py3b-3			0,29		3,61	3,15	576,40	20,24	253 440,00	6,07	1,03	0,24	0,32	
Py3b-3			1,30		11,97	4,75	576,40	748,00	248 820,00	5,83	1,74	0,75	0,03	
Py3b-3			0,71		10,50	3,26	547,80	675,40	238 480,00	6,75	1,10	1,06	0,03	
Py3b-3			3,32		25,41	17,43	576,40	699,60	247 060,00	8,49	6,20	1,76	0,04	
Py3b-3			2,84		24,36	13,02	594,00	741,40	243 540,00	9,22	4,66	1,50	0,06	
Py3b-3			2,29		14,91	14,07	585,20	492,80	236 060,00	13,86	5,15	2,05	0,12	
Aspy Bord-9			850,70		8,33	1,95		1 695,66	178 475,40	2,27	1,21		0,24	
Aspy Bord-9			534,56		4,34	1,38		1 408,26	173 302,20	0,86	1,15		0,18	
Aspy Bord-9			525,94		1,98	2,85		1 468,61	166 979,40	1,38	2,18		0,49	
Aspy Bord-9			554,68		2,39	3,65		1 310,54	160 369,20	1,93	2,47		1,06	
Aspy Bord-9			1 195,58		5,81	2,01		1 661,17	171 865,20	0,52	1,44		0,24	
Aspy Bord-9			551,81		1,01	2,21		1 457,12	160 944,00	0,00	1,01		0,34	
Aspy Bord-9			905,31		4,77	0,80		1 451,37	168 129,00	0,95	1,90		0,11	
Aspy Incl-1			88,51		58,37	14,43		837,03	210 379,20	4,84	6,64		1,35	
Aspy Incl-1			78,89		40,09	21,49		2 597,67	209 096,40	4,27	7,12		0,11	
Aspy Incl-1			62,86		47,46	22,77		1 083,97	217 113,90	3,85	8,85		0,20	
Aspy Incl-1			55,80		36,24	6,29		2 950,44	211 341,30	4,59	2,37		0,22	
Aspy Incl-1			106,79		173,18	62,86		1 619,54	199 796,10	7,44	17,32		0,39	

[illegible]

Aspy Incl-1						103,27				49,39	19,88		679,88	201 078,90	4,65	8,88		0,01
Aspy Incl-1						47,78				53,24	21,49		779,30	206 210,10	4,46	6,25		0,15
Aspy Incl-1						51,31				56,76	45,54		981,34	208 455,00	5,48	10,71		0,18
Aspy Incl-1						57,73				64,14	28,22		1 183,38	201 399,60	5,36	6,16		0,23
Aspy Incl-1						55,48				66,06	29,18		1 077,55	203 644,50	5,23	10,33		0,23
Aspy Incl-9						609,29				24,72	9,05		1 097,87	140 826,00	3,19	5,09		0,48
Aspy Incl-9						617,91				45,70	13,54		1 589,32	151 747,20	3,28	7,87		0,53
Aspy Incl-9						548,93				33,63	11,32		1 485,86	174 451,80	4,51	6,01		0,73
Aspy Incl-9						548,93				31,33	14,05		1 574,95	167 841,60	3,19	6,90		0,81
Aspy Incl-9						488,58				9,20	5,69		1 379,52	156 920,40	1,87	2,04		0,33
Aspy Incl-9						1 543,34				6,04	4,63		1 850,86	176 176,20	0,95	2,07		0,19
Aspy Incl-9						997,28				1,41	0,98		1 824,99	177 038,40	0,00	1,06		0,00
Aspy Pr-1						73,76				30,47	10,58		1 141,69	208 134,30	11,80	1,80		0,16
Aspy Pr-1						112,57				31,11	0,74		651,02	205 248,00	6,86	2,85		0,07
Aspy Pr-1						101,98				53,24	19,56		2 693,88	217 434,60	4,75	4,36		0,13
Aspy Pr-1						153,94				24,69	1,80		811,37	212 303,40	7,73	2,60		0,02
Aspy Pr-1						84,34				28,54	2,79		1 860,06	214 869,00	8,59	1,92		0,07
Aspy Pr-1						97,81				19,43	1,03		801,75	214 548,30	9,04	2,63		0,04
Aspy Pr-1						84,99				20,72	3,72		1 734,99	211 341,30	5,45	2,34		0,04
Aspy Pr-1						80,82				17,38	0,64		679,88	204 285,90	9,04	2,50		0,04
Aspy Pr-1						77,61				21,65	1,12		1 706,12	204 285,90	5,48	2,18		0,05
Aspy Pr-1						112,57				42,01	7,70		2 857,44	207 172,20	3,82	3,05		0,11
Aspy Pr-1						84,34				20,85	6,09		708,75	205 568,70	6,83	3,85		0,02
Aspy Pr-1						99,42				18,57	0,48		2 738,78	213 586,20	3,69	3,37		0,05
Aspy Pr-1						70,55				31,75	9,30		769,68	215 189,70	4,68	3,24		0,20
Aspy Pr-1						70,55				19,56	2,85		1 751,02	204 285,90	4,68	2,82		0,06

[illegible]

BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE

- Bedeaux, P., Pilote, P., Daigneault, R., & Rafini, S. 2014. «Synthesis of the structural evolution and associated gold mineralization of the Cadillac fault, Abitibi, Canada». 2014 GSA Annual Meeting in Vancouver, British Columbia.
- Bigot, L., & Jébrak, M. 2015. «Gold Mineralization at the Syenite-Hosted Beattie Gold Deposit, Duparquet, Neoproterozoic Abitibi Belt, Canada». *Economic Geology*, 110(2), 315-335.
- Bonnemaison, M., & Marcoux, E. 1990. «Auriferous mineralization in some shear-zones: A three-stage model of metallogenesis». *Mineralium Deposita*, 25(2), 96-104.
- Buchan, K. L., Mortensen, J. K., & Card, K. D. 1993. «Northeast-trending Early Proterozoic dykes of southern Superior Province: multiple episodes of emplacement recognized from integrated paleomagnetism and U-Pb geochronology». *Canadian Journal of Earth Sciences*, 30(6), 1286-1296.
- Butler, I. B., & Rickard, D. 2000. «Framboidal pyrite formation via the oxidation of iron (II) monosulfide by hydrogen sulphide». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64(15), 2665-2672.
- Colvine, A.C. 1989. «An empirical model for the formation of Archean gold deposits—products of final cratonization of the Superior province, Canada». *Economic Geology Monograph* 6, p. 37–53.
- Couture, J.-F. 1996. «Gisements métalliques du district de Rouyn-Noranda. In: Métalogénie et évolution de la région de Rouyn-Noranda», (edited by Couture, J.-F. and Goutier, J.) MB 96-06. Ministère des Ressources naturelles du Québec, 11-18.
- Davis, D.W. 2002. «U–Pb geochronology of Archean metasedimentary rocks in the Pontiac and Abitibi subprovinces, Quebec, constraints on timing, provenance and regional tectonics». *Precambrian Research*, 115(1), pp.97-117.
- Deol, S., Deb, M., Large, R. R., & Gilbert, S. 2012. «LA-ICPMS and EPMA studies of pyrite, arsenopyrite and loellingite from the Bhukia-Jagpura gold prospect, southern Rajasthan, India: Implications for ore genesis and gold remobilization». *Chemical Geology*, 326, 72-87.
- Diehl, S. F., Goldhaber, M. B., Koenig, A. E., Lowers, H. A., & Ruppert, L. F. 2012. «Distribution of arsenic, selenium, and other trace elements in high pyrite Appalachian coals: evidence for multiple episodes of pyrite formation». *International Journal of Coal Geology*, 94, 238-249.

- Dimroth, E., Imreh, L., Goulet, N., & Rocheleau, M. 1983. «Evolution of the south-central segment of the Archean Abitibi Belt, Quebec. Part III: Plutonic and metamorphic evolution and geotectonic model». *Canadian Journal of Earth Sciences*, 20(9), 1374-1388.
- Dubé, B., & Gosselin, P. 2007. «Greenstone-hosted quartz-carbonate vein deposits». *Mineral Deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods*. Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, 5, p. 49-73.
- Eisenlohr, B. N., Groves, D., & Partington, G. A. 1989. «Crustal-scale shear zones and their significance to Archean gold mineralization in Western Australia». *Mineralium Deposita*, 24(1), 1-8.
- Eugene J., Puritch, P.Eng., P & E Mining Consultants Inc. 2005. «Open Pit and Underground Mineral Resource Estimate for the Astoria 1 Gold Project, Near Rouyn, Quebec». Amended Report. NI 43-101 Compliant.
- Gauthier, N., Rocheleau, M. & Dubé, B. 1985. «Rapport technique - Pétrographie, minérigraphie et lithogéochimie des zones aurifères A et B, propriété Astoria». Yorbeau Resources Inc. : 47 p.
- Gauthier, N., Rocheleau, M., Kelly, D. and Gagnon, Y. 1990. «Controls on the distribution of gold mineralization within the Cadillac tectonic zone, Rouyn-Beauchastel segment, Abitibi belt, Quebec». *The Northwestern Quebec Polymetallic Belt: A Summary of*, 60, pp.185-198.
- Groves, D. I. 1993. «The crustal continuum model for late-Archean lode-gold deposits of the Yilgarn Block, Western Australia». *Mineralium deposita*, 28(6), 366-374.
- Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S. G., & Robert, F. 1998. «Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types». *Ore geology reviews*, 13(1), p. 7-27.
- Groves, D. I., Goldfarb, R. J., Robert, F., & Hart, C. J. 2003. «Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance». *Economic Geology*, 98(1), 1-29.
- Jackson, S. L., & Cruden, A. R. 1995. «Formation of the Abitibi greenstone belt by arc-trench migration». *Geology*, 23(5), 471-474
- Jébrak, M., & Marcoux, É. 2008. «Géologie des ressources minérales». Ministère des ressources naturelles et de la faune, 668 p.

- Kerrick, R., & Wyman, D. 1990. «Geodynamic setting of mesothermal gold deposits: An association with accretionary tectonic regimes». *Geology* 18.9: 882-885.
- Kerrick, R., Goldfarb, R., Groves, D. I., & Garwin, S. 2000. «The geodynamics of world-class gold deposits: characteristics, space-time distribution, and origins». In *Gold in Vol. 13*, pp. 501-551.
- Kerrick, R., Goldfarb, R., Groves, D., Garwin, S., & Jia, Y. 2000. «The characteristics, origins, and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces». *Science in China Series D: Earth Sciences*, 43(1), p. 1-68.
- Lajoie, J., & Ludden, J. 1984. «Petrology of the Archean Pontiac and Kewagama sediments and implications for the stratigraphy of the southern Abitibi belt». *Canadian Journal of Earth Sciences*, 21(11), 1305-1314.
- Large, R. R., Maslennikov, V. V., Robert, F., Danyushevsky, L. V., & Chang, Z. 2007. «Multistage sedimentary and metamorphic origin of pyrite and gold in the giant Sukhoi Log deposit, Lena gold province, Russia». *Economic Geology*, 102(7), p. 1233-1267.
- Large, R. R., Bull, S. W., & Maslennikov, V. V. 2011. «A carbonaceous sedimentary source-rock model for Carlin-type and orogenic gold deposits». *Economic Geology*, 106(3), 331-358.
- Large, R. R., Halpin, J. A., Danyushevsky, L. V., Maslennikov, V. V., Bull, S. W., Long, J. A., Gregory, D. D., Lounejeva, E., Lyons, T. W., Sack, P. J., McGoldrick, P. J. & Calver, C. R. 2014. «Trace element content of sedimentary pyrite as a new proxy for deep-time ocean-atmosphere evolution». *Earth and Planetary Science Letters*, 389, p. 209-220.
- Pilote, P., Daigneault, R., David, J. & McNicoll V. 2014. «Architecture of the Malartic, Piché and Cadillac groups and of the Cadillac Fault, Abitibi Subprovince: geological revision, new dates and interpretations». Présentation orale au Congrès Québec Mines, novembre 2014.
- Piper, J. D. A., Beckmann, G. E. J., & Badham, J. P. N. 1976. «Palaeomagnetic evidence for a Proterozoic super-continent [and discussion]. *Philosophical Transactions for the Royal Society of London*». Series A, Mathematical and Physical Sciences, 469-490.
- Rabeau, O., Legault, M., Cheilletz, A., Jébrak, M., Royer, J. J., & Cheng, L. Z. 2010. «Gold potential of a hidden Archean fault zone: the case of the Cadillac-Larder Lake Fault». *Exploration and Mining Geology*, 19(3-4), p. 99-116.
- Rafini, S.. 2014. «Fiches descriptives de gîtes - Faille de Cadillac». *Projet CONSOREM 2011-01 et 2012-0*, 197 p.
- Robert, F., 2001. «Syenite-associated disseminated gold deposits in the Abitibi greenstone belt, Canada». *Mineralium Deposita*, 36(6), pp.503-516.

- Robert, F., & Brown, A. C. 1986. «Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi greenstone belt, Quebec; Part I, Geologic relations and formation of the vein system». *Economic Geology*, 81(3), 578-592.
- Robert, F., A.-M. Boullier & K. Firdaous. 1995. «Gold-quartz veins in metamorphic terranes and their bearing on the role of fluids in faulting». *Journal of Geophysical Research*, 100(B7), 12861–12879, doi:10.1029/95JB00190.
- Robert, F., & Poulsen, K. H. 1997. «World-class Archean gold deposits in Canada: An overview». *Australian Journal of Earth Sciences*, 44(3), 329-351.
- Sibson, R. H., Robert, F., & Poulsen, K. H. 1988. «High-angle reverse faults, fluid-pressure cycling, and mesothermal gold-quartz deposits». *Geology*, 16(6), 551-555.
- Simard, M., Gaboury, D., Daigneault, R., & Mercier-Langevin, P. 2013. «Multistage gold mineralization at the Lapa mine, Abitibi Subprovince: insights into auriferous hydrothermal and metasomatic processes in the Cadillac–Larder Lake Fault Zone». *Mineralium Deposita*, 48(7), p. 883-905.
- Velásquez, G., Béziat, D., Salvi, S., Siebenaller, L., Borisova, A. Y., Pokrovski, G. S., & De Parseval, P. 2014. «Formation and deformation of pyrite and implications for gold mineralization in the El Callao District, Venezuela». *Economic Geology*, 109(2), 457-486.
- Wyman, D., & Kerrich, R. 2009. «Plume and arc magmatism in the Abitibi subprovince: implications for the origin of Archean continental lithospheric mantle». *Precambrian Research*, 168(1), 4-22.

Sites internet

- Thundermin Resources Inc. 2009. Pelletier Lake Gold Property, Rouyn-Noranda, Québec, Canada. Ni 43-101 Report. <http://www.thundermin.com/projects/pelletier.html>. Consulté le 21 septembre 2014.
- Yorbeau Resources Inc. 2011. Technical report on the Rouyn property - Rouyn-Noranda, Québec, Canada. Ni43-101 Report. <http://www.yorbeauresources.com/document/en/2089-TechnicalReport.pdf>. Consulté le 15 septembre 2014.